

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

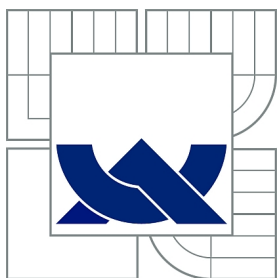
MODULÁRNÍ SÍŤOVÉ ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ A OVLÁDÁNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

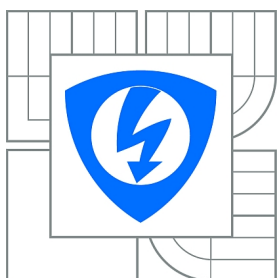
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. MIROSLAV LÍZNER

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## MODULÁRNÍ SÍTOVÉ ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ A OVLÁDÁNÍ

MODULAR NETWORK DEVICES FOR MEASURING AND CONTROL

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

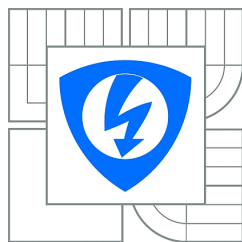
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. MIROSLAV LÍZNER

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. STANISLAV KLUSÁČEK

BRNO 2011



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav automatizace a měřicí techniky**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Kybernetika, automatizace a měření**

**Student:** Bc. Miroslav Lízner

**ID:** 83518

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2010/2011

## NÁZEV TÉMATU:

**Modulární síťové zařízení pro měření a ovládání**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem diplomové práce bude v návaznosti na semestrální práci 2 dokončení vývoje modulu sloužícího jako základ pro různá síťová zařízení a demonstrovat jeho aplikaci na zařízení pro spínání digitálních výstupů a snímání hodnot ze snímačů. Základní modul bude obsahovat procesor, paměti, ethernetový řadič a měl by mít vyvedené piny GPIO, UART rozhraní a JTAG konektor pro programování. Tato deska bude základ pro další zařízení, na které bude osazována.

Příkladem takové desky bude deska s digitálními vstup / výstupy a deska zaměřená na měření pomocí snímačů připojených na standardní sběrnici (např. onewire). Celé zařízení by mělo mít volitelné napájení po Ethernetu nebo síťovým adaptérem. Vše by mělo být ovladatelné pomocí sériové linky / usb / ethernetu (web rozhraní/telnet). Práce bude realizována ve spolupráci s firmou KOUKAAM a.s.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] JOSEPH YIU. The definitive guide to the ARM Cortex-M3. Newnes. 2010.
  - [2] PHILIPS SEMICONDUCTORS. The I2C-bus specification version 2.1. 2000
- Dle doporučení vedoucího práce.

**Termín zadání:** 7.2.2011

**Termín odevzdání:** 23.5.2011

**Vedoucí práce:** Ing. Stanislav Klusáček

**prof. Ing. Pavel Jura, CSc.**  
Předseda oborové rady

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá embeded zařízením se síťovým rozhranním. Cílem této práce je navrhnout zařízení pro čtení hodnot a stavů vstupů a ovládání výstupů. Praktická část pojednává o návrhu a realizaci na platformě mikroprocesoru STM32.

## **Summary**

This diploma thesis deals with ethernet embeded device. The main goal of this work is to develop device for reading values, input states and for output control. The hardware solution based on STM32 mitrocontroller is described in practical part of this work.

## **Klíčová slova**

Ethernet, mikrokontrolér, snímání hodnot, snímání stavů, ovládání výstupů

## **Keywords**

Ethernet, microcontroller, values measurement, state inputs, output control

**Bibliografická citace:**

LÍZNER, M. Modulární síťové zařízení pro měření a ovládání. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. XY s. Vedoucí diplomové práce Ing. Stanislav Klusáček.

## Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Modulární síťové zařízení pro měření a ovládání jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 23. května 2011 ..... podpis autora

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Stanislavu Klusáčkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Koncepce</b>	<b>14</b>
2.1	Modul . . . . .	14
2.2	Základní deska . . . . .	15
2.3	Řešení modularity . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Použitá rozhraní</b>	<b>18</b>
3.1	ETHERNET . . . . .	18
3.1.1	Fast Ethernet . . . . .	18
3.1.2	Gigabit Ethernet . . . . .	19
3.1.3	MII . . . . .	19
3.1.4	RMII . . . . .	19
3.2	PoE . . . . .	20
3.2.1	Varianty napájení . . . . .	20
3.2.2	Funkce PoE . . . . .	20
3.2.3	Detekce a třídy PoE . . . . .	22
3.3	SPI . . . . .	22
3.3.1	Zapojení SPI . . . . .	23
3.3.2	Technické parametry . . . . .	23
3.4	I <sup>2</sup> C . . . . .	24
3.4.1	Signály . . . . .	24
3.4.2	Technické parametry a komunikace . . . . .	25
3.5	UART . . . . .	25
3.5.1	Struktura . . . . .	25
3.5.2	Baudrate . . . . .	26
3.6	JTAG . . . . .	26
3.6.1	Signály rozhraní JTAG . . . . .	26
<b>4</b>	<b>Návrh hardwarové části</b>	<b>28</b>
4.1	Mikrokontrolér . . . . .	28
4.1.1	STM32F107VCT6 . . . . .	28
4.1.1.1	Základní parametry . . . . .	28
4.1.1.2	Rozhraní: . . . . .	29



4.1.1.3	Zapojení MCU . . . . .	29
4.1.2	PIC32MX695F512H . . . . .	30
4.1.2.1	Základní parametry . . . . .	30
4.1.2.2	Architektura . . . . .	31
4.1.2.3	Zapojení . . . . .	31
4.2	Ethernet controller . . . . .	37
4.2.1	STE100P . . . . .	37
4.2.1.1	Připojení na MCU . . . . .	37
4.2.1.2	Signalizace stavů . . . . .	37
4.2.1.3	Schéma zapojení . . . . .	38
4.2.2	KSZ8031 . . . . .	38
4.2.2.1	Připojení na MCU . . . . .	40
4.2.3	Připojení na Ethernet . . . . .	41
4.3	Napájení . . . . .	41
4.3.1	PoE controller . . . . .	42
4.3.1.1	DC/DC zdroj . . . . .	43
4.4	Vstupní a výstupní rozhraní . . . . .	44
<b>5</b>	<b>Software</b>	<b>48</b>
5.1	TCP/IP stack . . . . .	48
5.1.1	DHCP . . . . .	48
5.1.2	HTTP . . . . .	48
5.1.3	Telnet . . . . .	49
5.2	Aplikace . . . . .	49
<b>6</b>	<b>Testování a finální realizace</b>	<b>51</b>
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>53</b>

# Seznam obrázků

2.1	Blokové schéma základního modulu . . . . .	15
3.1	Napájení po datových vodičích [14] . . . . .	21
3.2	Napájení po volných párech [14] . . . . .	21
3.3	Midspan vložený mezi napájené zařízení a síťový prvek nepodporující PoE [14] .	21
3.4	Zapojení SPI pro dva mikrokontroléry . . . . .	24
3.5	Příklad využití sběrnice I <sup>2</sup> C ve spotřební elektronice. [7] . . . . .	24
3.6	Průběh komunikace na sběrnici I <sup>2</sup> C. [7] . . . . .	25
3.7	Zapojení JTAG rozhraní . . . . .	27
4.1	Zapojení STM32F107VCT6 . . . . .	30
4.2	Architektura PIC32MX695F512H[12] . . . . .	31
4.3	Zapojení mikrokontroléru PIC32 . . . . .	32
4.4	Konfigurace adresy zařízení . . . . .	32
4.5	Připojení I <sup>2</sup> C EEPROM . . . . .	33
4.6	Zapojení ICSP konektoru . . . . .	33
4.7	Zapojení výstupních shift registrů . . . . .	34
4.8	JTAG adaptér . . . . .	34
4.9	Zapojení sériových portů . . . . .	35
4.10	Zapojení SPI flash . . . . .	36
4.11	Zapojení konektorů . . . . .	36
4.12	Zapojení STE100P . . . . .	39
4.13	Zapojení PHY řadiče . . . . .	40
4.14	Zapojení PHY řadiče . . . . .	41
4.15	Blokové schéma funkce LM5071 [10] . . . . .	42
4.16	Zapojení PoE s volbou napájení po Ethernetu / z 12V adaptéru . . . . .	43
4.17	Princip funkce step-down spínaného zdroje [16] . . . . .	43
4.18	Princip funkce step-down spínaného zdroje - časové průběhy [16] . . . . .	44
4.19	MC34063A - schéma funkce [15] . . . . .	45
4.20	Schema zapojení zdroje pro hladinu 3V3 . . . . .	45
4.21	Zatěžovací charakteristika zdroje 3V3 . . . . .	46
4.22	Zapojení výstupních shift registrů . . . . .	46
4.23	Zapojení vstupů . . . . .	47
4.24	Zapojení výstupů . . . . .	47

5.1	TCP/IP stack [13]	48
5.2	Ukázka webového rozhraní	50
6.1	3D render výsledné desky	52

# Seznam tabulek

3.1	Základní parametry IEEE 802.3af [9]	20
3.2	Třídy PoE dle normy IEEE 802.3af	22
3.3	Signály na rozhraní JTAG	26
4.1	Připojení STE100P k MCU	38

# Kapitola 1

## Úvod

Cílem diplomové práce je navrhnout koncept modulárního síťového zařízení pro měření a ovládání. V následujících kapitolách se budu zabývat volbou vhodné koncepce síťového zařízení se širokým spektrem využití. Volba vhodných komponent ovlivní nejen výslednou cenu výrobku, ale samozřejmě také určí míru univerzálnosti výsledného řešení a v neposlední řadě také velikost zařízení.

# Kapitola 2

## Koncepce

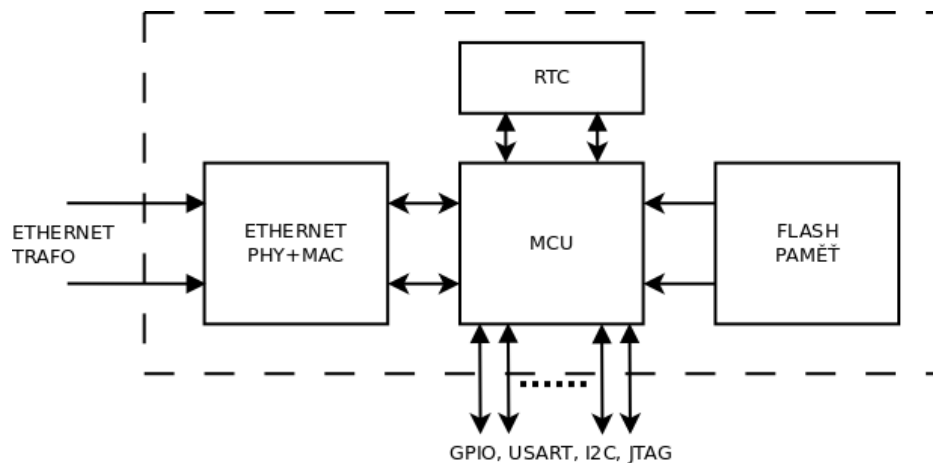
Základním cílem této práce je navrhnout modul síťového zařízení pro univerzální využití. Tento modul by měl být použitelný pro řadu různých zařízení. Obecně by tato zařízení měla být ovládatelná přes rozhraní Ethernet. Zda bude využito webové rozhraní, telnet, ssh, či jiné komunikační protokoly, bude záviset na konkrétní aplikaci. Mezi příklady aplikace výsledného zařízení patří následující:

- spínání výstupů
- čtení vstupů
- vyčítání hodnot z připojených senzorů (rozhraní One-wire, I<sup>2</sup>C)
- zobrazení hodnot na dotykovém displeji (využití pro přístupové systémy)
- zobrazení dat na informačních panelech
- inteligentní IR přísvit pro kamerové systémy (vyhodnocování intenzity osvětlení, změna vyzařovacího úhlu)
- snímač CO<sub>2</sub>

### 2.1 Modul

Základní modul bude obsahovat mikrokontrolér, paměť pro program, MAC a PHY vrstvu pro ethernet a obvody reálného času. Pro výstup a komunikaci s okolními periferiemi slouží následující rozhraní:

- GPIO - obecné vstupně-výstupní piny
- JTAG - rozhraní pro debugging a programování
- UART - sériové rozhraní (při použití převodníku lze využít jako RS232 nebo USB)



Obrázek 2.1: Blokové schéma základního modulu

- SPI - rozhraní pro připojení sériové flash paměti, nebo například displeje
- I<sup>2</sup>C - rozhraní pro připojení integrovaných obvodů, například RTC (obvod reálného času)

## 2.2 Základní deska

Modul zařízení bude osazován na základní desku. Základní deska bude obsahovat vždy:

- transformátor pro oddělení sítě
- ethernetový konektor (RJ45)
- napájecí obvody, zde jsou možné dvě varianty:
  - PoE (Power over Ethernet) transformátor a kontrolér + spínané zdroje pro potřebné napájecí hladiny
  - vstup na 12V zdroj + spínané zdroje pro potřebné napájecí hladiny
- konektor pro programovací a debugovací rozhraní (JTAG).

Dále budou osazeny komponenty dle finální aplikace. Příkladem mohou být:

- převodníky na RS232 / RS485 / USB
- opticky oddělené digitální vstupy / výstupy

- reléové výstupy
- A/D a D/A převodníky

Pro ověření funkčnosti základního modulu bude vytvořena deska, která bude obsahovat:

- Magjack (RJ45 konektor obsahující ethernetový transformátor), nebo samostatný RJ-45 konektor + transformátor
- JTAG konektor
- Konektor pro případné další programovací rozhraní
- Převodník UART na RS232 (MAX3232)
- GPIO piny vyvedené na pinových lištách
- Analogové vstupy
- reléové výstupy
- opticky oddělené vstupy
- signalizační LED diody
- rozhraní pro LCD displej

## 2.3 Řešení modularity

Modulárnosti tohoto řešení lze docílit dvěma způsoby. První variantou je fyzické rozdělení na modul a základní desku. Modul bude fyzicky vytvořen jako samostatná deska, která se osadí na desku základní. Druhou variantou je vytvořit základní modul jako symbol v návrhovém softwaru a „osazovat“ jej na základní desku jako funkční blok již v návrhovém systému.

Vzniknou tak dvě varianty které mají své výhody i nevýhody a je třeba mezi nimi volit dle požadované aplikace.

### **Varianta fyzicky odděleného modulu od základní desky**

Tato varianta s sebou nese jak výhody, tak nevýhody. Díky možnosti využití jednoho modulu pro více zařízení dosáhneme větších výrobních sérií. Z větších sérií samozřejmě plynou takové výhody jako jsou výhodnější ceny na nákup komponent a výrobu tištěných spojů. To by se na první pohled mohlo jevit jako dokonalé řešení. Nicméně nesmíme zapomenout na to, že samotný modul je sám o sobě nepoužitelný a je třeba k němu vytvářet základní desku pro danou aplikaci. Zde nám vznikají další náklady na výrobu desek plošných spojů a osazování. Dalšími náklady jsou testovací přístroje pro testování jednotlivých desek při výrobě a samozřejmě také náklady na vývoj těchto testů. Rozhodnout zda volit tuto koncepci lze až v okamžiku, kdy budou jasné výrobní série a konkrétní náklady.



Co lze však o tomto řešení říci jednoznačně je to, že bude vhodné pro zařízení vyžadující menší plochu zastavěnou tištěnými spoji.

#### **Varianta použití modulu jako knihovního symbolu**

Zde je situace opačná než v předchozí variantě. Opět ekonomické výhody souvisí s konkrétní situací. Ty teď ponechme stranou. Důležité je, že o této koncepci můžeme říci, že je vhodná pro aplikace s nároky na nižší provedení elektroniky.

Pro účely demonstrace funkčnosti návrhu bude použita tato druhá koncepce. Půjde v podstatě o vývojovou platformu, na které bude ověřena funkčnost a bude na ni možné vyvíjet software pro následující verze zařízení.

## Kapitola 3

# Použitá rozhraní

### 3.1 ETHERNET

Ethernet je dnes nejrozšířenějším standardem v počítačových sítích LAN (Local Area Network). Fyzická a síťová vrstva Ethernetu je popsána sbírkou norem IEEE 802.3. Dříve se jako přenosové médium používat koaxiální kabel se sběrníkovou topologií. Odpovídaly tomu standardy 10BASE-5 (tzv. tlustý ethernet) a 10BASE-2 (tzv. tenký ethernet). Přenosové rychlosti u zmiňovaných standardů byly 10MBps. Koaxiální kabel postupně začal být vytlačován kroucenou dvoulinkou. Standard 10BASE-T popisuje hvězdicovou topologii a využití krouceného dvojlinky. Přenosová rychlost je, stejně jako u standardů s koaxiálním kabelem, 10MBps. Zmiňované standardy jsou dnes již spíše historií. Dnes jsou mnohem zajímavější standardy 100BASE-T a 1000BASE-T, proto se jimi budu zabírat podrobněji v následujícím textu.

#### 3.1.1 Fast Ethernet

Fast Ethernet je jiným názvem pro standard 100BASE-T. Norma 100BASE-T odpovídá doporučení **IEEE 802.3u**.

Přenos dat je založen na přístupové metodě **CSMA/CD** (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Tato přístupová metoda funguje tak, že nejprve naslouchá, zda nevysílá někdo jiný. Pokud je detekována nosná cizího vysílání, počká, než probíhající vysílání skončí. Na stejném médiu vysílá více uzlů. Vysílání z jednoho uzlu je přijímáno všemi ostatními uzly. CD ve zkratce označuje detekci kolizí. V průběhu vysílání dochází ke kontrole, zda nepřichází signál od jiné stanice. Pokud ano, dojde ke kolizi. Stanice v tu chvíli přeruší vysílání, odešle informaci o kolizi a poté se pokusí o opětovné odeslání.

Podle použitého fyzického media se člení Fast Ethernet na následující standardy.

- 100BASE-TX - Nestíněný kabel UTP kategorie 5. Využívá se dvou párů. Délka segmentu je maximálně 100m.
- 100BASE-FX - Optický kabel. Délka segmentu je 412m pro vícevidové kabely v half duplex režimu, nebo až 10000m pro jednovidový optický kabel a duplexní režim.

### 3.1.2 Gigabit Ethernet

Jedná se o 10x rychlejší variantu k Fast Ethernetu. Je popsán standardy **IEEE 802.3z** a **IEEE 802.3ab**. Tyto normy jsou napsány pro různé druhy kabelů a různá použití. Škála řešení fyzické vrstvy je poměrně široká. Je možné použít levné mnohavidové optické kabely, dražší mnohavidové a jenovidové kabely, nebo metalické kabely.

### 3.1.3 MII

Ve výčtu základních norem a sběrnic týkajících se Ethernetu bezpochyby stále schází jedna velice důležitá. Jedná se o normu **MII** - Medium Independent Interface. Jak již z názvu vyplívá jedná se o rozhraní nezávislé na přenosovém médiu. Toto rozhraní slouží pro propojení Fyzické a Linkové vrstvy. Výhodou tohoto rozhraní je, že můžete jednoduchou změnou řadiče fyzické vrstvy přecházet mezi fyzickými médii (optická vlákna, metalické vedení).

Přenos dat po rozhraní MII probíhá po čtyř-bitových slovech obousměrně. Komunikace je taktována na 25MHz pro dosažení přenosové rychlosti 100 Mbps, nebo 2.5MHz pro 10Mbps. Z předchozí věty vyplívá že rozhraní MII se používá jen pro 10/100 Mbps Ethernet. Pro ostatní přenosové rychlosti existují období rozhraní - AUI (10 Mbps), GMII (pro 1 Gbps) a XGMII (pro 10 Gbps).

MII obsahuje sadu registerů:

- Basic Mode Configuration (#0)
- Status Word (#1)
- PHY Identification (#2, #3)
- Ability Advertisement (#4)
- Link Partner Ability (#5)
- Auto Negotiation Expansion (#6)

Komunikace je následující - start rámce je indikován signálem **TXEN**, je držen v log.1 až do konce celého rámce. Pro každou skupinu signálů (**TXD0-TXD3**) je nastaven do log.1 signál **TXCLK**. Signál **RXDV** se překlápí do log.1 při příchodu rámce a je držen v log. 1 po celou dobu rámce. Hodinový signál **RXCLK** je aktivní pro každou skupinu přijatých dat (**RXD0-RXD3**).

### 3.1.4 RMII

Rozhraní RMII (Reduced Media Independent Interface) jak už název napovídá vychází z rozhraní MII. Narozdíl od MII, které ke komunikaci využívá 16 signálů, RMII používá pouze 6-10 signálů. Běžně jsou používány tyto signály:

- TXD0 - Vysílaná data bit 0 (směrem z MAC do PHY)
- TXD1 - Vysílaná data bit 1 (směrem z MAC do PHY)

Parametr	Hodnota
Spotřeba napájeného zařízení	12,95 W
Maximální výkon dodaný napájecím zařízením	15,40 W
Rozsah napětí (napájecí zařízení)	44,0 - 57,0 V
Rozsah napětí (napájené zařízení)	37,0 - 57,0 V
Podporovaná kabeláž	Cat3 a Cat5

Tabulka 3.1: Základní parametry IEEE 802.3af [9]

- TX\_EN - Povolovací signál pro vysílání (směrem z MAC do PHY)
- RXD0 - Přijímaná data bit 0 (směrem z PHY do MAC)
- RXD1 - Přijímaná data bit 1 (směrem z PHY do MAC)
- CRS\_DV - detekce kolizí
- RX\_ER - chyba příjmu - volitelně u přepínačů
- REF\_CLK - referenční hodinový signál 50 MHz
- MDIO - řídící data
- MDC - hodinový signál pro MDIO

## 3.2 PoE

**Power Over Ethernet** je možnost využití jednoho vedení jak pro přenos dat, tak pro napájení vlastních síťových zařízení. Největší uplatnění PoE nyní nachází mezi zařízeními jako jsou IP telefony, IP kamery, snímače, čidla a obecně průmyslová či domácí automatizace. Nejrozšířenější jsou momentálně zařízení splňující normu IEEE 802.3af, její základní parametry naleznete v následující tabulce.

Za zmínku stojí i norma IEEE 802.3at umožňující napájet zařízení se spotřebou 25,5W, popřípadě 51W při použití všech čtyř párů.

### 3.2.1 Varianty napájení

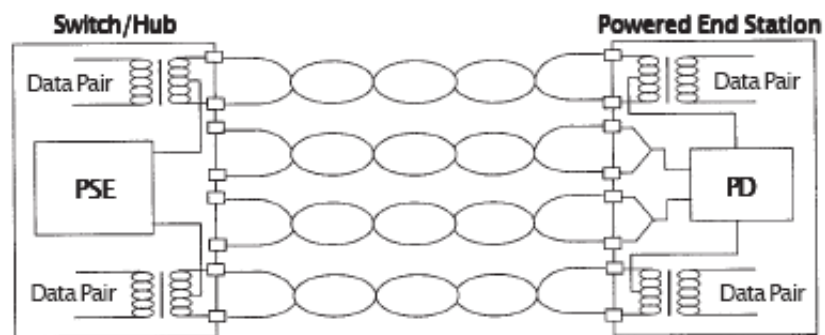
Dle normy je možné použít tři varianty napájení zařízení. První variantou je napájení s využitím datových signálů. V tomto případě se napájení přenáší po dvou párech datových vodičů připojením na střední vinutí oddělovacích transformátorů.

Druhou variantou je využití volných dvou párů UTP kabelu. Vodiče jsou po párech spojeny na koncových zařízeních.

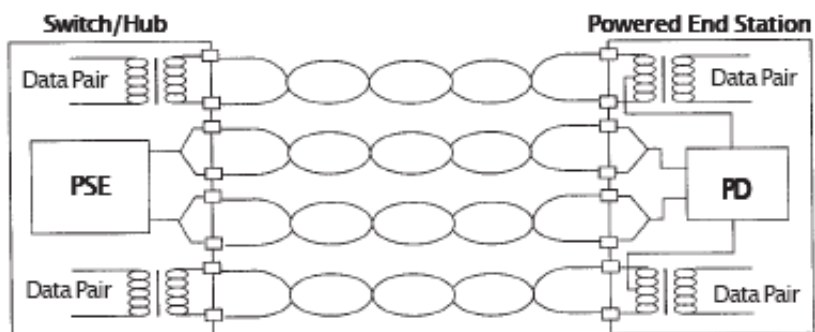
Třetí variantou je napájení z tzv. Midspanu, což je zařízení vložené mezi napájené PoE zařízení a druhé síťové zařízení, které PoE nepodporuje. Toto zařízení sdruží do jednoho vedení samostatně přivedené datové signály a napájení. Tyto zařízení bývají také nazývány jako Injector.

### 3.2.2 Funkce PoE

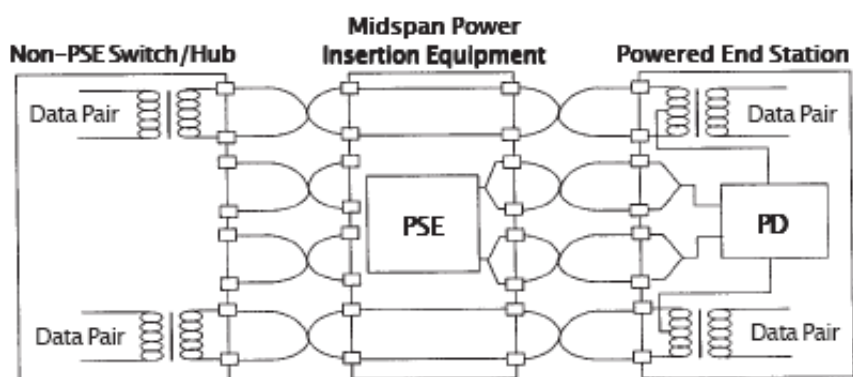
Napájení po Ethernetu není pouhým připojením napájecího napětí do nevyužitých vodičů,



Obrázek 3.1: Napájení po datových vodičích [14]



Obrázek 3.2: Napájení po volných párech [14]



Obrázek 3.3: Midspan vložený mezi napájené zařízení a síťový prvek nepodporující PoE [14]

Třída	Výkon [W]	Klasif. - Min. I [mA]	Klasif. Max. I [mA]
0	15,4	0	4
1	4	9	12
2	7	17	20
3	15,4	25	30
4	vyhrazeno pro další použití	35	44

Tabulka 3.2: Třídy PoE dle normy IEEE 802.3af

popřípadě na středy odělovacích transformátorů u vodičů datových. Funkce PoE je poněkud složitější. Napáječ PoE musí kromě detekce (viz další kapitola) sledovat proudový odběr, špičkový proudový odběr, klidový odběr a rychlost proudových ochran. Kromě napájení je tak potřeba zajistit ochranu proti zkratu a nadměrnému odběru. To je zabezpečeno třídami definujícími max. odebíraný výkon pro dané zařízení.

### 3.2.3 Detekce a třídy PoE

Než PoE controller umožní napájení vlastního zařízení, probíhá několik úkonů. Tyto by se v pořadí jak jdou za sebou daly shrnout takto:

- detekce
- klasifikace
- připojení zařízení

Aby bylo zjištěno, zda zařízení odpovídá standardům, napájecí zařízení postupně nastaví dvě napájecí úrovně zařízení napájenému a změří odebraný proud. Ten nesmí překročit limit 5mA. Testovací úrovně jsou zpravidla v rozmezí 2,8 až 10V a změří procházející proud. V tuto chvíli napájené zařízení připojuje detekční rezistory o odporu 23,75 - 26,25 kΩ Tato fáze je nazývána jako **detekční**. Pokud zařízení projde touto fází, pokračuje do fáze klasifikace.

V **klasifikační** fázi se zjišťuje, jakou spotřebu má zařízení. V této fázi se opět nastavují dvě napájecí úrovně (mezi 15,5 až 20,5 V) a opět se měří odebíraný proud. Pomocí detekčního rezistoru v napájeném zařízení je tak dána výkonová třída, do které zařízení spadá. V tabulce 4.1 jsou rozsahy proudů v klasifikační fázi pro jednotlivé třídy zařízení.

Po průchodu fázemi detekce a klasifikace je připojeno zařízení k napájecímu napětí.

V následující tabulce je přehled výkonů jednotlivých tříd PoE dle normy IEEE 802.3af. Pro napájení zařízení s vyšší spotřebou je možné zvolit výše zmiňovaný standart IEEE 802.3at. Pro naše účely však plně postačí stávající norma IEEE 802.3af s maximálním odběrem 15,4W.

## 3.3 SPI

SPI (serial periperial interface) je velmi rozšířené jednosměrné. nebo obousměrné komunikační rozhraní pro připojení celé řady obvodů k mikrokontroléru. Na rozdíl od paralelního přenosu dat používá pouze jeden vodič pro data a druhý pro ověření platnosti dat na výstupu.

Data jsou přenášena bit po bitu sériově, vysílací strana nikdy nečeká, zda přijímací strana všechna data přijala. Toto je nutné ošetřit volbou vhodného komunikačního protokolu. Komunikační rozhraní SPI se používá pro připojení displejů, A/D převodníků, sériových pamětí, krokových motorů, nebo procesorů mezi sebou. Některé MCU (např. rodina produktů AVR od firmy Atmel) využívají SPI rozhraní také pro programování vnitřní paměti a konfiguračních pojistek procesoru.

### 3.3.1 Zapojení SPI

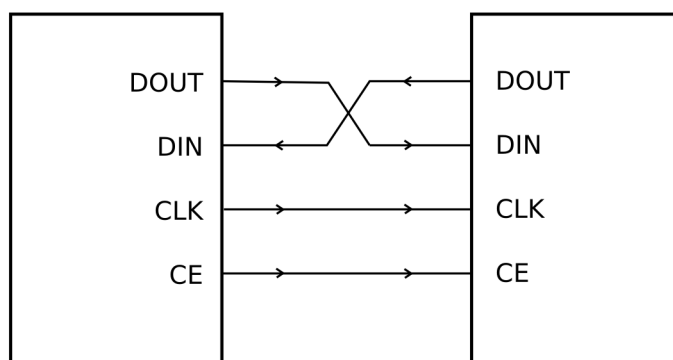
Pro jednosměrnou komunikaci je používáno dvou vodičové zapojení. Pro obousměrnou komunikaci se používá zapojení tří vodičové. Tyto zapojení lze rozšířit o třetí (čtvrtý) vodič pro výběr periferního obvodu.

**Jednotlivé signály jsou:**

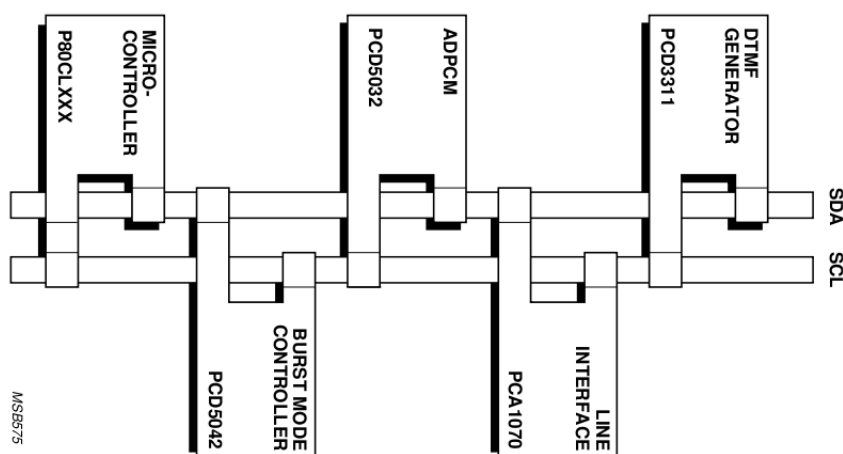
- MOSI (Master Out Slave In): Výstupní data z master obvodu odeslaná do slave obvodu.
- MISO (Master In Slave Out): Výstupní data z slave obvodu odeslaná do master obvodu.
- SPCK (Serial Clock): Řídící linka ovládaná obvodem Master. Řídí tok datových bitů. Master může odeslat data s různou přenosovou rychlostí.
- NSS (Slave Select): Řídící linka vypíná, nebo zapíná slave obvody.

### 3.3.2 Technické parametry

- Kompatibilita s Embedded 32-bitovými mikrokontrolery
- Komunikace s externími sériovými periferiemi
  - Možnost komunikace s až 15 zařízeními
  - Využití u sériových pamětí (EEPROM, Flash)
  - Připojení sériových periferií (A/D, D/A, LCD)
  - Externí koprocessory
- Komunikace s periferiemi v režimu Master - Slave
  - Programovatelná fáze i polarita signálu
  - Programovatelná doba zpoždění mezi hodinovým signálem a daty
  - Programovatelná doba zpoždění mezi následnými přenosy
  - Volba módu detekce chyby



Obrázek 3.4: Zapojení SPI pro dva mikrokontroléry



Obrázek 3.5: Příklad využití sběrnice I<sup>2</sup>C ve spotřební elektronice. [7]

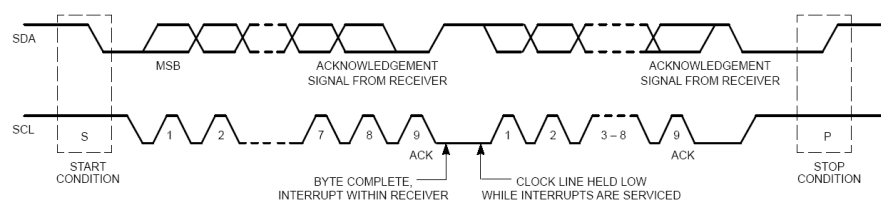
## 3.4 I<sup>2</sup>C

Sběrnici I<sup>2</sup>C vyvinula firma Philips jako obousměrnou sběrnici pro komunikaci mezi integrovanými obvody. Lze ji použít pro připojení řady rozdílných zařízení - LCD řadiče, RAM, EEPROM, RTC, AD převodníky ...

### 3.4.1 Signály

Sběrnice využívá dva signály - hodinový signál SCL a datový kanál SDA. Fyzická vrstva je tvořena dvěma vodiči (SDA a SCL), které jsou přes pull-up rezistor připojeny ke kladnému napájecímu napětí. Díky tomu je v klidovém stavu na vodiči úroveň H. Sběrnic I<sup>2</sup>C můžeme použít na řadě zařízení, které fungují na principu různých technologií. Úrovně pro log. 1 a log. 0 nejsou pevně dány. Závisí pouze na úrovni napájecího napětí. Délka sběrnice a počet zařízení





Obrázek 3.6: Průběh komunikace na sběrnici I<sup>2</sup>C. [7]

na sběrnici je není omezen, je limitován pouze maximální dovolenou kapacitou 400pF.

### 3.4.2 Technické parametry a komunikace

Sběrnice je 8-mi bitově orientovaná. Přenosová rychlost je do 100 kbit/s ve standardním režimu, 400 kbit/s v rychlém režimu, nebo až 3.4 Mbit/s v High-speed režimu.

Funkce WIRED-AND zabraňuje vysílání dvou zařízení současně. Pokud zapisují na sběrnici dvě zařízení - Master A a Master B, probíhá to tak, že zařízení zapisou na sběrnici a čtou po sobě, co zapsali. Master A zapíše 0 a Master B zapíše 1 - Master B přečte ze sběrnice 0 a ukončí přenos, protože zjistí, že na ni zapisuje někdo jiný s vyšší prioritou.

Logická úroveň na SDA se může měnit pouze, pokud je SCL v log. 0. Existují dvě výjimky, těmi je vysílání podmínek START a STOP.

Každé zařízení připojené na sběrnici I<sup>2</sup>C má svou unikátní adresu. Adresa má délku 7 nebo 10 bitů. Vlastní přenos probíhá tak, že se vyšle podmínka START, poté adresa a bit R/W, který udává jaká je požadovaná operace (čtení/zápis). Následuje bit ACK (log. 1), který slouží k potvrzení přijímací stanice o připravenosti přijímat. Dále jsou přenášena data ve směru určeném bitem R/W. Za každým bitem následuje jeden bit ACK. Pro zakončení přenosu je odeslána podmínka STOP.

## 3.5 UART

UART je univerzální asynchronní vysílač/přijímač (Universal asynchronous receiver/transmitter). Obvody UARTu můžeme nalézt buďto jako samostatné integrované obvody (např. 16550, 8250), nebo jako součást mikrokontrolérů. Často bývá využíván ve spojení s dalšími komunikačními standarty jako je např. RS-232, RS-485, RS-422 nebo USB.

### 3.5.1 Struktura

Obvody UARTu bývají zpravidla složeny z následujících částí:

- generátor hodinového signálu
- vstupní posuvné registry
- výstupní posuvné registry
- logika řízení vysílání/příjmu
- logika řízení odesílání/příjmu
- buffer pro odesílání/příjem

Signál	Popis
TDI	Test Data In
TDO	Test Data Out
TCK	Test Clock
TMS	Test Mode Select
TRST	Test Reset

Tabulka 3.3: Signály na rozhraní JTAG

- paralelní datová sběrnice
- FIFO paměťový buffer

### 3.5.2 Baudrate

Pro dosažení správného baudrate je potřeba zvolit vhodný kmitočet krystalu, abychom dosáhli co nejmenší chyby. Zde jsou příklady kombinací frekvencí krystalů a vhodné přenosové rychlosti, bez chyby.

- 18.432 MHz: 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 Bd
- 22.118400 MHz: 300, 600, 1200, 1800, 2400, 4800, 7200, 9600, 14400, 19200, 38400, 57600, 115200 Bd
- 16 MHz: 125000, 500000 Bd
- 24 MHz: 4800 Bd

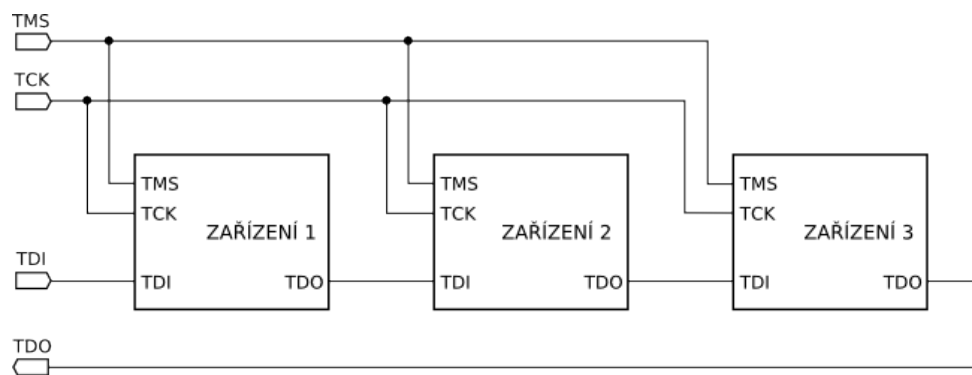
## 3.6 JTAG

JTAG (Join Test Action Group) je standard definovaný normou IEEE 1149.1. Obecně se jedná o rozhraní použitelné pro testování plošných spojů (tzv. Boundary-Scan), programování Flash paměti a debugování přímo v obvodu. V mém případě využiji JTAG hlavně pro programování flash paměti použitého procesoru.

### 3.6.1 Signály rozhraní JTAG

Základní signály rozhraní JTAG jsou čtyři, bývají doplňovány pátým signálem Reset. Seznam signálů je v tabulce 4.1.

Vlastní komunikace po rozhraní je sériová. Výhodou je, že lze použít jedno JTAG rozhraní pro programování více zařízení na jedné desce plošného spoje. Přes jeden konektor na desce tedy můžete přistupovat ke všem čipům které podporují JTAG. Sériová komunikace používá hodinový signál **TCK** frkvence hodinového signálu bývá typicky 10-100MHz. Signálem **TMS** se volí kroky stavového automatu rozhraní JTAG. Těmito kroky je reset, přístup do instrukčních registrů a přístup k datům vybraným instrukčními registry. Data jsou odesílána a přijímána dvěma vodiči - **TDI** a **TDO**. Příklad zapojení více obvodů na jedno JTAG rozhraní je na obrázku 4.4.



Obrázek 3.7: Zapojení JTAG rozhraní

## Kapitola 4

# Návrh hardwarové části

### 4.1 Mikrokontrolér

V předchozí semestrální práci jsem popisoval koncepci na základě 32b mikrokontroléru Cortex M3 s architekturou ARMv7. Jedná se bezpochyby o výkoný procesor pro embeded zařízení. V průběhu zpracování podkladů jsem však narazil na zajímavou řadu 32b mikrokontrolérů PIC32 od firmy Microchip. Práce nakonec byla přepracována pro tuto architekturu. Důvodů bylo hned několik - nižší pořizovací náklady, bohatší škála periférií a výborná podpora pro programování. Firma Microchip skutečně odvedla kus práce za vývojáře a připravila jim kvalitní nástroje. Microchip poskytuje zdarma vývojové prostředí MPLAB, které lze použít pro všechny mikrokontroléry od tohoto výrobce. Zdarma jsou dostupné také kompilátory kódu. Jediné omezení, které mají se týká optimalizace kódu. Jako třešničku na dortu firma Microchip poskytuje velkou řadu otevřených zdrojových kódů. Namátkou mohu zmínit propracovaný IPStack, grafické knihovny, knihovny pro vytvoření souborového systému ve flash paměti apod..

Původně tedy byl pro návrh zvolen mikrokontrolér **STM32F107VCT6** od firmy STMicroelectronics. Stručnou charakteristiku tohoto procesoru zde ponechám pro porovnání s nakonec vybraným obvodem Microchip **PIC32MX695F512H**.

#### 4.1.1 STM32F107VCT6

##### 4.1.1.1 Základní parametry

- jádro ARM 32b Cortex-M3
- maximální frekvence 72MHz
- 256 kB Flash
- 64 kB SRAM
- napájení 2,0 - 3,6 V DC
- 3 - 25 MHz oscilátor
- RTC

- popora záložní baterie pr RTC obvod a zálohu registrů

#### **4.1.1.2 Rozhraní:**

- 2 x 12b A/D převodník
- 2 x 12b D/A převodník
- 80 I/O portů
- JTAG / SWD (Serial Wire Debug)
- 10 časovačů
- 1 x 16b PWM výstup pro řízení motoru
- 2 x watchdog časovač
- 2 x I<sup>2</sup>C
- 2 x I<sup>2</sup>S
- 3 x USART
- 2 x UART
- 3 x SPI
- 2 x CAN
- 1 x USB

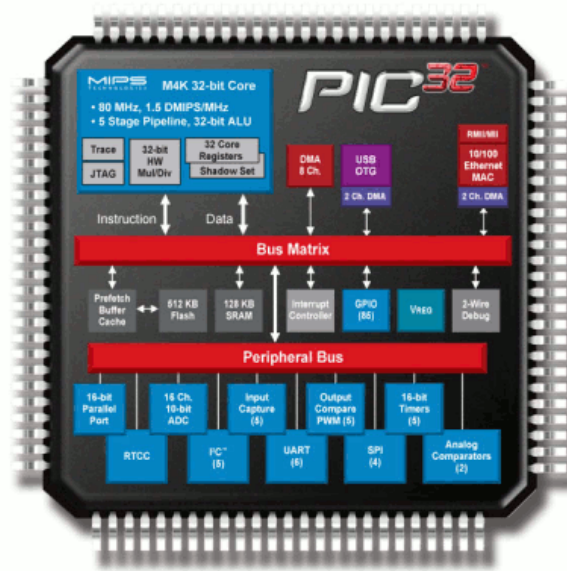
#### **4.1.1.3 Zapojení MCU**

Základní zapojení MCU je patrné na následujícím obrázku. Jedná se skutečně o funkční základ. Zapojeny jsou krystaly 25 MHz (pro procesor), 32,7 kHz (pro RTC), základní blokovací kondenzátory a SPI FLASH paměť. Z popsaných vývodů je patrné zapojení řadiče Fyzické vrstvy pro Ethernet. Je zde řada nezapojených vývodů. Jejich konkrétní využití mělo být pro připojení požadovaných periferních obvodů, nicméně jak jsme ji zmínil v předchozím textu, toto zapojení nakonec nebylo použito.



- Obvod reálného času
- USB OTG
- integrovaný řadič MAC vrstvy pro 10/100 Ethernet

#### 4.1.2.2 Architektura

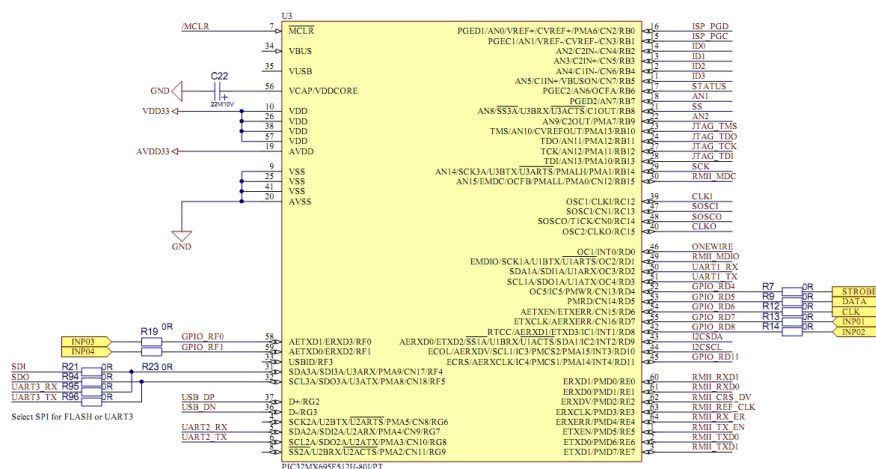


Obrázek 4.2: Architektura PIC32MX695F512H[12]

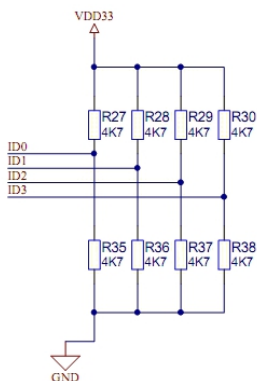
#### 4.1.2.3 Zapojení

Na obrázku 4.3 je znázorněné konkrétní zapojení mikrokontroléru PIC32. U mikrokontroléru jsem s výjimkou několika pinů využil všechna rozhraní. Celý port RE je využit pro připojení řadiče fyzické vrstvy Ethernetu, rozhraním RMII. Dále je použito jak rozhraní JTAG, tak ICSP pro programování a ladění. Pro možnost alternativního využití je několik rozhraní připojeno přes nulové rezistory sloužící k volbě funkce daných pinů. Příkladem je *UART3*, který může být připojen volitelně s externí SPI Flash pamětí. Dalším alternativním osazením jsou vstupní porty (*INP01*, *INP02*, *INP03*, *INP04*) z digitálních vstupů zařízení, které lze využít jako alternativní GPIO piny. Stejně tak jsou vyřešeny signály pro řízení výstupných posuvných registrů (signály *STROBE*, *DATA*, *CLK*). Samozřejmostí je zapojení blokovacích kondenzátorů na všech napájecích vstupech a oddělení analogové napájecí větve od digitální pomocí EMI filtrů. K mikrokontroléru jsou také připojeny dva krystaly. Jeden krystal má kmitočet 8 MHz a slouží jako zdroj hlavního taktovacího signálu. Jelikož budeme chtít využít možností mikrokontroléru a použít taktovací frekvenci 80 MHz, nastavíme později PLL děličku na hodnotu 2 a PLL násobičku na hodnotu 20. Druhý krystal pracuje na kmitočtu 32.768 kHz a je zdrojem taktovacího signálu pro integrovaný obvod reálného času.

Výsledné zařízení je navrhováno s ohledem na použití jednoho zapojení pro více projektů.



Obrázek 4.3: Zapojení mikrokontroléru PIC32

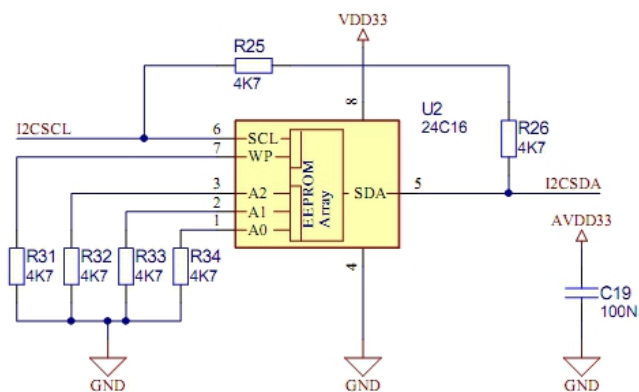


Obrázek 4.4: Konfigurace adresy zařízení

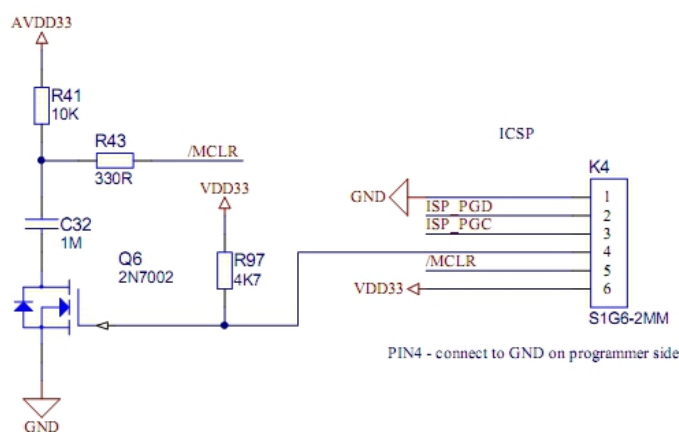
Takové zařízení se nemusí zásadně lišit ve vlastním zapojení, ale jen v nahrávané programové části. S ohledem na použité zařízení na programování a případně i testovací přípravky jsem na volné čtyři vstupní piny Mikroprocesoru přiojil žebříček z rezistorů. Na každý ze čtyř pinů (označené *ID0* až *ID3*) jsem připojil jeden pull-up a jeden pull-down rezistor. Ke každému pinu bude vždy připojen jeden ze zmiňovaných rezistorů. Z kombinace těchto vstupů bude možné vyčíst jednoznačný identifikátor zařízení. Získáváme tak možnost použít stejné testovací, popřípadě programovací prostředky pro 16 různých zařízení.

Řada aplikací vyžaduje ukládání malého množství dat. Příkladem takových dat může být konfigurace zařízení (parametry síťového nastavení) nebo logování menšího množství dat. K využití se nabízí vnitřní Flash paměť, popřípadě použití externí flash paměti. Využití těchto pamětí je pro zápis menšího množství dat nevýhodné kvůli blokovému přístupu. Proto jsem zvolil externí EEPROM paměť 24C16. Jendá se o paměť s organizací 2048 x 8, což znamená, že do ní můžeme zapsat 2 kB dat. Paměť komunikuje po dvoudrátovém rozhraní I<sup>2</sup>C. Adresa paměti na sběrnici I<sup>2</sup>C je napevno nastavena konfiguračními rezistory u vstupních pinů A0 až





Obrázek 4.5: Připojení I<sup>2</sup>C EEPROM

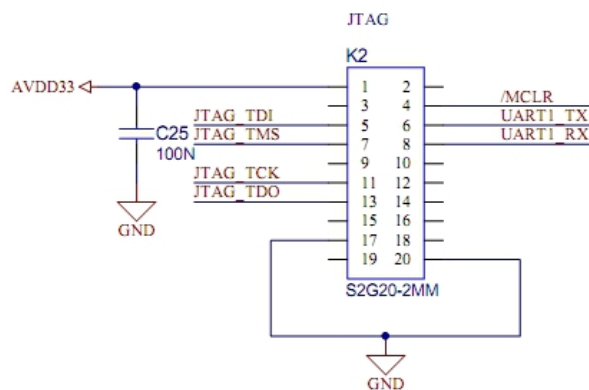


Obrázek 4.6: Zapojení ICSP konektoru

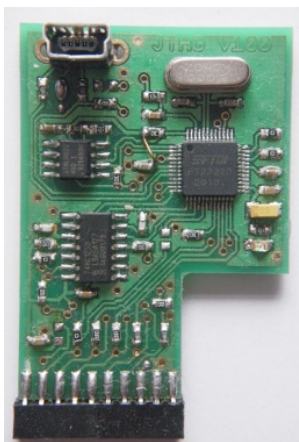
A2.

Jako programovací a ladící rozhraní jsem použil rozhraní ICSP standardně používané u řady obvodů PIC od firmy Microchip. Pin *MCLR* plní hned dvě funkce, je použit jako reset mikrokontroléru v standardním režimu, ale také pro přepnutí do programovacího módu po připojení programátoru. V standardním režimu je na pin *MCLR* připojen RC obvod, který spustí reset po připojení napájení. Oproti doporučenému zapojení od výrobce jsem použil tranzistor, který odpojí RC obvod v případě připojení programátoru. Na straně programátoru je jen třeba zapojit pin4 na zem. Bylo by možné použít propojku, která by se odpojovala při programování, je to však zbytečný krok navíc ve výrobním procesu.

Alternativním použitým rozhraním pro programování a ladění. Speciálně pro tyto účely jsem navrhl jednoduchý programovací adaptér. Jako základ tohoto adaptéru byl použit obvod



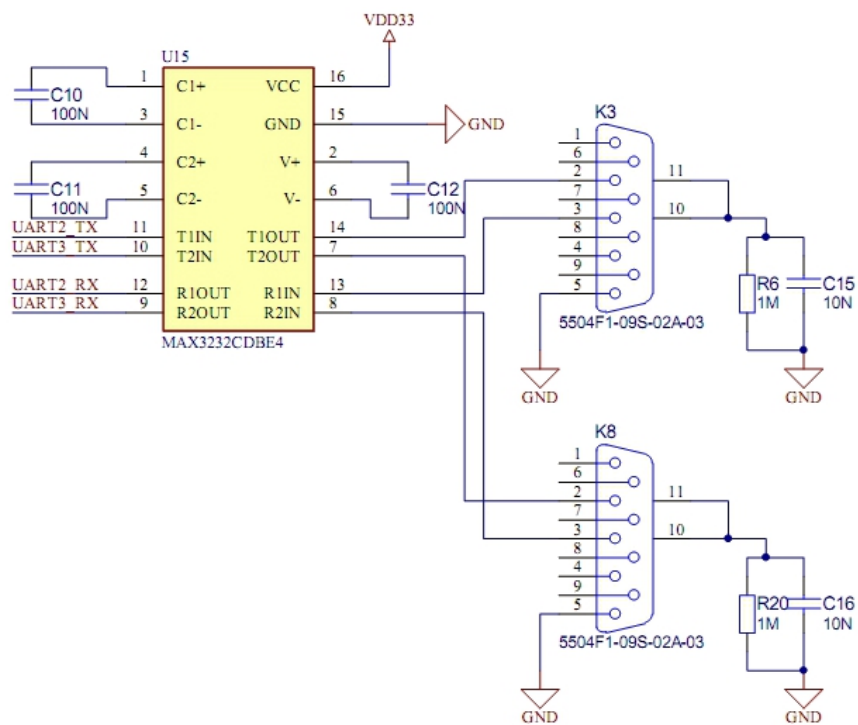
Obrázek 4.7: Zapojení výstupních shift registrů



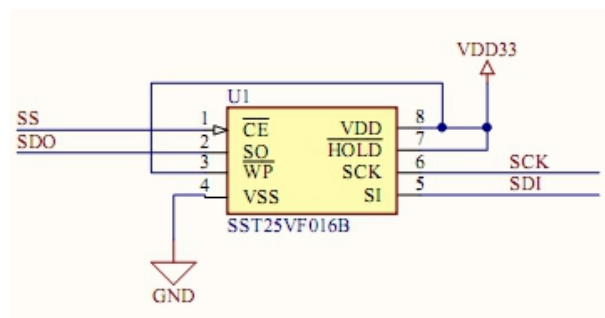
Obrázek 4.8: JTAG adaptér

FT2232L. Jedná se o 2-kanálový převodník z 3.3V logiky (paralelní, sériové) na USB. Konfigurace tohoto obvodu je uložena v externí EEPROM 93C46. Jeden kanál je použit pro rozhraní JTAG a druhý pro připojení sériové linky. Můžeme tak pomocí jednoho USB portu na PC programovat nebo debugovat zařízení přes rozhraní JTAG a také komunikovat se zařízením pomocí sériové linky, na které můžeme například sledovat systémové výpisy.

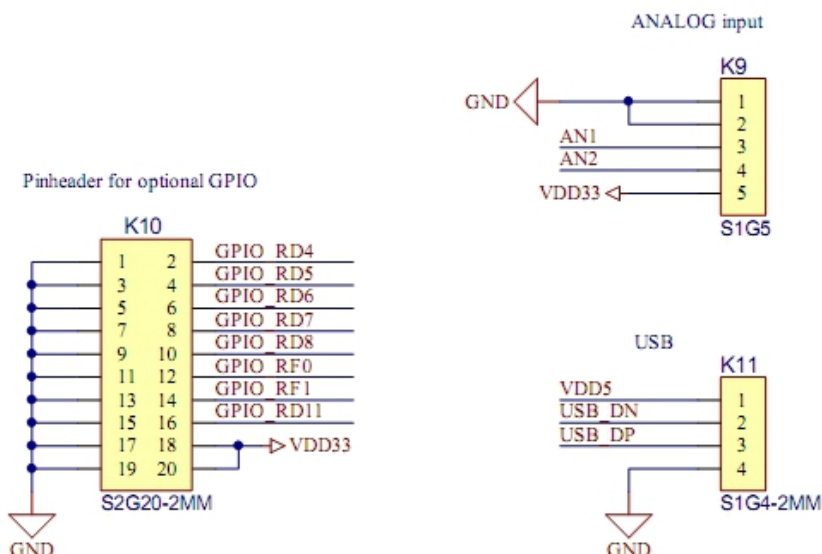
Jedním z rozhraní, které může uživatel pro komunikaci se zařízením využít je sériová linka. Pro převod úrovní z 3.3 V logiky na RS-232 jsem použil obvod MAX3232. Jedná se o dvoukanálový převodník. Použití dvou sériových portů má v jistých případech své opodstatnění. Jeden sériový port může sloužit jako sériová linka pro ovládání zařízení, popřípadě vyčítání hodnot. Druhý port může být využit pro připojení dalšího zařízení a jeho ovládání přes ethernet. Použil jsem standardní konektory DB9F. Stínění konektů je odděleno od signálové země pomocí rezistoru a kondenzátoru kvůli rušení.



Obrázek 4.9: Zapojení sériových portů



Obrázek 4.10: Zapojení SPI flash



Obrázek 4.11: Zapojení konektorů

Pro dočasné logování hodnot z připojených vstupů jsem použil sériovou flash paměť. Zvolil jsem obvod SST25VF016B. Jedná se o 16 Mbit flash paměť s SPI rozhranním. V případě, že nebude třeba použít SPI flash, je možné ji neosadit a dvěma propojkami připojit rozhraní UART3 na druhý kanál převodníku pro RS232.

Pro testovací účely je na konektor K10 vyvedeno 8 vstupně-výstupních pinů, zem a napájecí hladina 3,3 V. Tyto piny jsou zapojeny alternativně s rozhranním pro připojení výstupních shift registrů a vstupních obvodů. Konfigurace je popsána výše. Dále jsou na konektor K9 vyvedeny dva vstupy 10 bitových AD převodníků mikrokontroléru. Ty bude možné použít například pro připojení analogových snímačů. Posledním konektorem je USB. Mikrokontroléry řady PIC32 obsahují řadič USB On-The-Go. USB port je tedy možné použít v režimech USB Host nebo USB device.

## 4.2 Ethernet controller

Jelikož zvolený mikrokontroler již obsahuje bloky pro linkovou vrstvu (MAC), bylo třeba zvolit vhodný obvod pro Fyzickou vrstvu (PHY). Opět zde naleznete návrh dvou variant zapojení. První volbou byl obvod STE100P od firmy STMicroelectronics. Jelikož výsledný procesor (PIC32) nepodporuje rozhraní MII, musel jsme změnit i finální zapojení fyzického řadiče. Druhou variantou tedy je obvod MICREL KSZ8031 s rozhraním RMII.

### 4.2.1 STE100P

Jedná se o obvod pro 10/100 Ethernet. Obvod je vyráběn CMOS technologií, pro připojení k MCU slouží rozhraní MII.

Obvod podporuje plně-duplexní i polo-duplexní přenos dat při 10 Mbps i 100 Mbps. Volba režimu se provádí buďto přes auto-negotiation, paralelní detekcí nebo manuálním nastavením.

- IEEE802.3u 100Base-TX a IEEE802.3 10Base-T
- podpora IEEE802.3x řízení toku
- IEEE802.3u Auto-Negotiation podpora pro 10Base-T a 100Base-TX
- MII rozhraní
- Podpora standard CSMA/CD nebo plně-duplexního provozu

#### 4.2.1.1 Připojení na MCU

Propojení s MCU je realizováno již zmiňovaným rozhraním MII. Využívá se 5 signálů pro příjem dat, 5 signálů pro vysílání, 3 řídicí signály pro vysílání a 3 řídicí signály pro příjem. Dále dva řídicí signály pro detekce kolizí a 3 signály pro řízení přenosu dat. Popis signálů je v následující tabulce.

#### 4.2.1.2 Signalizace stavů

Obvod podporuje signalizaci řady stavů pomocí signalizačních led diod. Možné je zobrazit následující stavy:

- **10 Mbps Speed LED:** 10 Mbps(svítí) nebo 100 Mbps(nesvítí)
- **100 Mbps Speed LED:** 100 Mbps(svítí) nebo 10 Mbps(nesvítí)
- **TX/RX Activity LED:** Bliká frekvencí 10 Hz při příjmu dat bez kolizí
- **Link LED:** Svítí při detekovaném spojení, bliká při přenosu dat.

Pin	Jméno	I/O	Popis
52	txd4	I	Vysílaná data Jedná se o data která vysílá MCU do Ethernetu
58	txd3		
57	txd2		
56	txd1		
55	txd0		
54	tx_en	I	Povolení vysílání
53	tx_clk	I/O	Hodinový signál pro vysílání dat (25 MHz nebo 2,5 MHz)
52	tx_er	I	Chyba ve vysílaném stramu
51	rx_d4	I	Přijatá data Přijatá synchronní data.
43	rx_d3		
44	rx_d2		
46	rx_d1		
47	rx_d0		
48	rx_dv	O	Platnost přijatých dat
51	rx_er	O	Chyba příjmu
49	rx_clk	O	Hodinový signál přijatých dat
59	col	O	Detekce kolizí - výstup je nastaven při detekované kolizi
60	csl	O	Carrier Sense
42	mdc	I	Hodinový signál pro komunikaci mezi PHY a MAC
41	mdio	I/O	Sériová data pro komunikaci mezi PHY a MAC
61	mdint	OD	Přerušování pro komunikaci mezi PHY a MAC

Tabulka 4.1: Připojení STE100P k MCU

- **Full Duplex / Collision LED:** Svítí při plně-duplexním režimu. Bliká kmitočtem 20 Hz při indikaci kolizí.

Pro naše účely bude využita signalizace **10 Mbps Speed LED**, **TX/RX Activity LED** a **Link LED**. Tyto signály budou vyvedeny na základním modulu. Které signály se využijí pro výslednou aplikaci bude záviset na použitém RJ-45 konektoru s LED diodami (popřípadě jiným způsobu indikace) na základní desce. Dnes jsou nejběžnější RJ-45 konektory se dvěma jednobarevnými LED, popřípadě s jednou jednobarevnou LED a jednou dvoubarevnou LED. My tedy na budeme mít vyvedeny signály 38 - **ledr10**, 37 - **ledtr** a 36 - **ledl**.

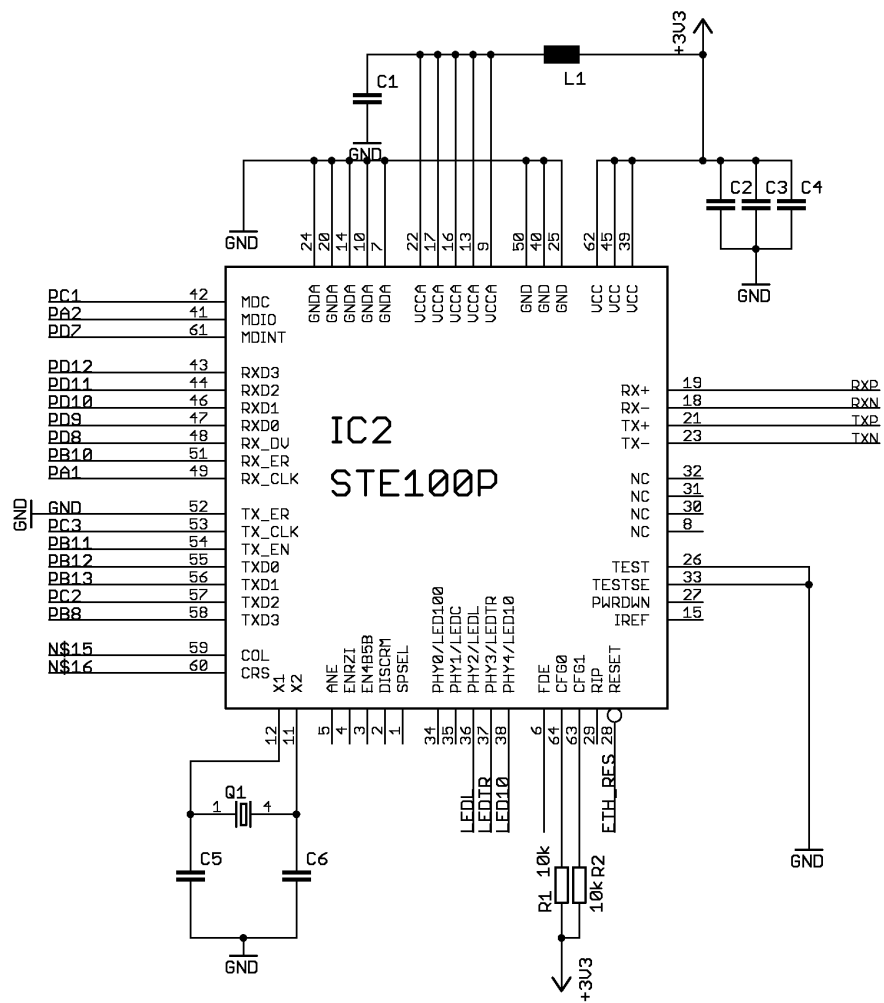
#### 4.2.1.3 Schéma zapojení

Na následujícím obrázku je finální schéma zapojení řadiče fyzické vrstvy.

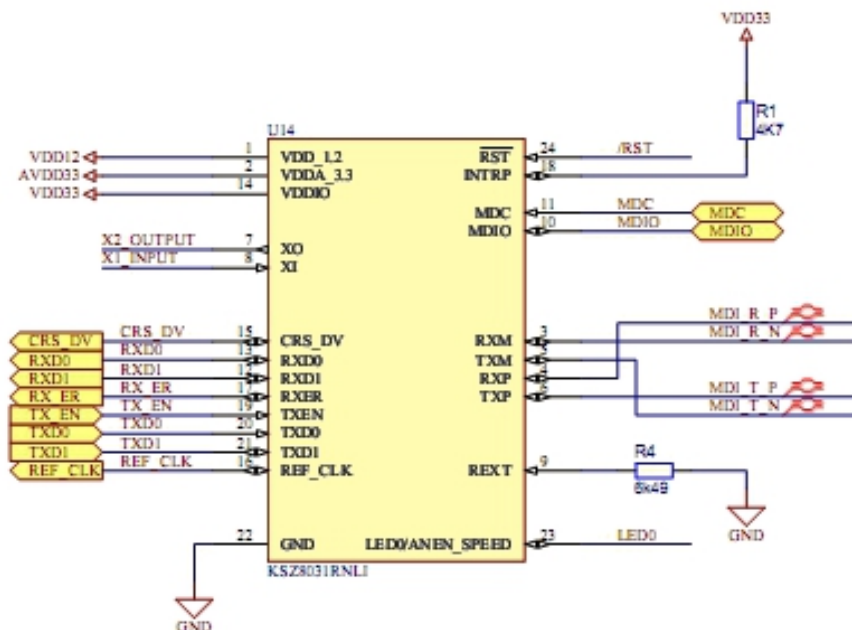
#### 4.2.2 KSZ8031

Jedná se o obvod pro 10/100 Ethernet. Pro připojení k MCU slouží rozhraní RMII. Obvod je navrhován s ohledem na nízké náklady a jednoduché zapojení.

Obvod podporuje plně-duplexní i polo-duplexní přenos dat při 10 Mbps i 100 Mbps. Volba režimu se provádí buďto přes auto-negotiation, paralelní detekcí nebo manuálním nastavením.



Obrázek 4.12: Zapojení STE100P



Obrázek 4.13: Zapojení PHY řadiče

- IEEE802.3u 100Base-TX a IEEE802.3 10Base-T
- podpora RMII v 1.2
- výstup 50MHz signálu pro MAC vrstvu
- IEEE802.3u Auto-Negotiation podpora pro 10Base-T a 100Base-TX
- Podpora standard CSMA/CD nebo plně-duplexního provozu

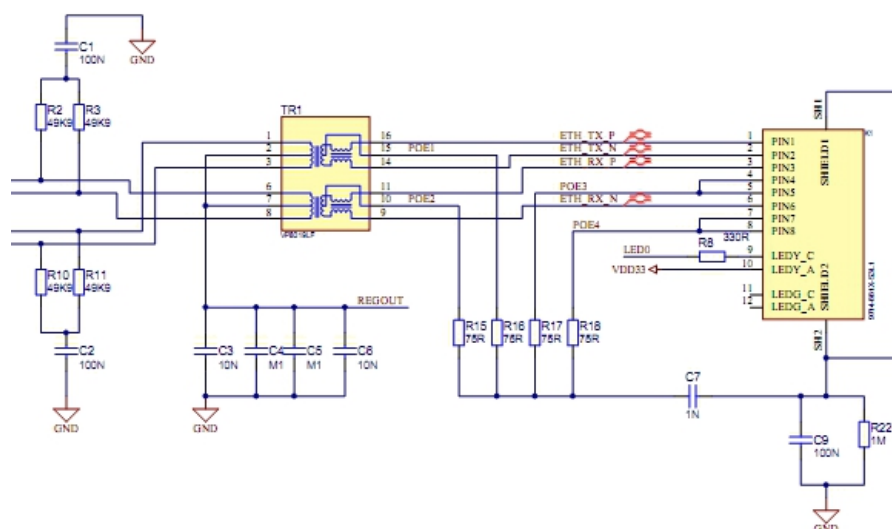
#### 4.2.2.1 Připojení na MCU

Je vidět, že oproti předchozí variantě zapojení s rozhraním MII je zapojení RMII značně jednodušší.

Využívá se 5 signálů pro příjem dat, 5 signálů pro vysílání, 3 řídicí signály pro vysílání a 3 řídicí signály pro příjem. Dále dva řídicí signály pro detekce kolizí a 3 signály pro řízení přenosu dat.

Vlastní řadič je navržen tak, aby vyžadoval připojení minimálního množství externích součástek. Jak je vidět z obrázku zapojení, kromě připojeného krystalu 25 MHz, napájení a RMII





Obrázek 4.14: Zapojení PHY řadiče

rozhraní, jsou již připojeny v podstatě pouze dva datové diferenciální páry na ethernetový transformátor.

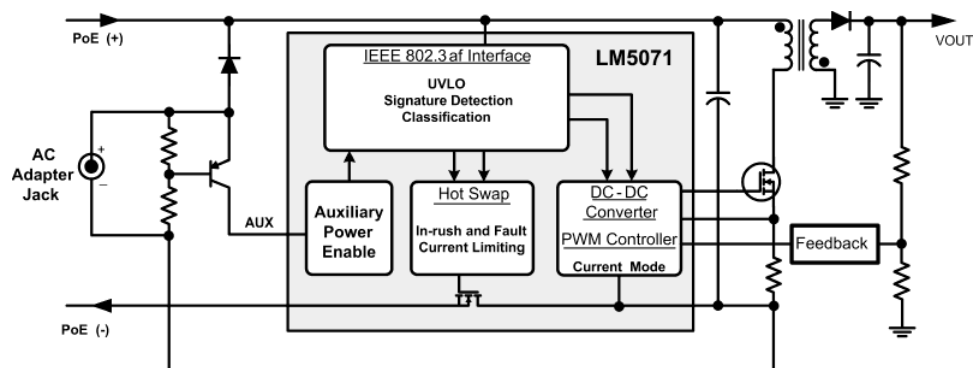
### 4.2.3 Připojení na Ethernet

Obvod může být připojen k ethernetu přes oddělovací transformátor, popřípadě takzvaný MagJack konektor, což je RJ-45 konektor obsahující ethernetový transformátor. Pro různé aplikace jsou vhodná různá řešení. Já jsme zvolil oddělenou variantu. Z konektoru RJ-45 jsou vyvedeny dva signálové páry (vysílací a přijímací) na oddělovací transformátor. Ze středů vinutí jsou vyvedeny signály *POE1* a *POE2*, ty slouží pro napájení po ethernetu po volných vodičích a budou připojeny na usměrňovací můstek před vstupem PoE řadiče. Volné páry na konektoru RJ-45 jsou spojeny a je z nich vyveden signál *POE3* a *POE4*. Tyto dva signály jsou vyvedeny na druhý usměrňovací můstek, který je taktéž připojen na vstup PoE kontroleru a slouží pro napájení po ethernetu po volných vodičích. Stínění konektoru RJ-45 je kvůli rušení odděleno rezistorem a kapacitou od signálové země zařízení.

Při návrhu desky tištěného spoje si budeme muset dát pozor na dodržení jistých pravidel. Délka signálových vodičů by určitě neměla překročit 12 cm, vzdálenost mezi **RX+** a **RX-** by měla být 8-10 mils, to samé latí pro **TX+** a **TX-**. A vzdálenost obou párů RX a TX by měla být větší než 200 mils.

## 4.3 Napájení

Ve finálních zařízeních bude variantně použito napájení 12 V DC, popřípadě PoE. Na demonstrační desce bude použit PoE controller, který je navržen pro variantní použití externího napáječe 12 V DC. V koncepci vlastního zařízení se počítá s obvody napájenými napájecí úrovní 3,3 V DC. Pro alternativní osazení bude možné použít navržený spínaný 3,3 V DC zdroj.



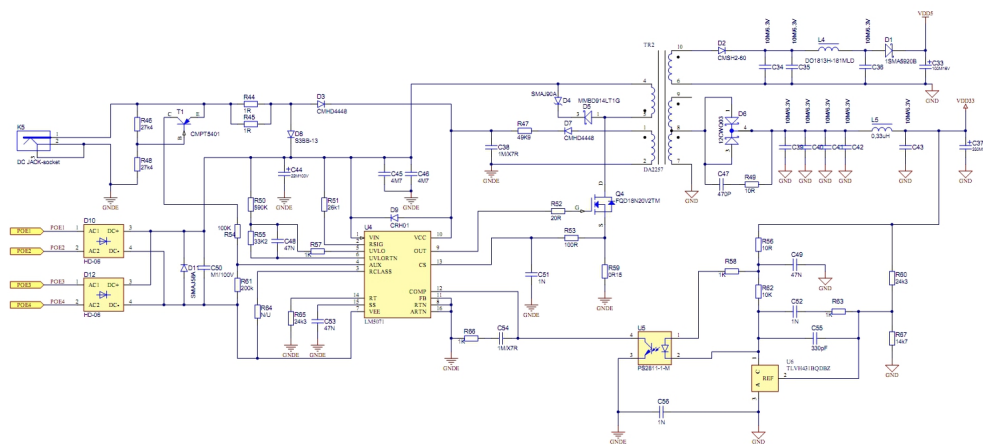
Obrázek 4.15: Blokové schéma funkce LM5071 [10]

### 4.3.1 PoE controller

Pro napájení zařízení jsem zvolil velmi rozšířený PoE controller LM5071. Jedná se o PoE řadič navržený pro zařízení používající jak napájení po Ethernetu, tak variantně napájení ze síťového adaptéru. Při výpadku napájení z PoE je automaticky zařízení přepnuto na napájecí adaptér. Pokud je tento připojen, je možné jej použít jako záložní zdroj. Místo adaptéru je samozřejmě možné použít záložní baterii.

### Základní parametry

- plná podpora standardu IEEE 802.3af
- podpora 12 V DC adaptéru
- interní MOSFET 80V / 400 mA
- funkce odpojení detekčního rezistoru
- programovatelný klasifikační proud
- programovatelné uzamčení v případě podpětí
- teplotní ochrana
- proudem řízený PWM modulátor
- programovatelný soft-start

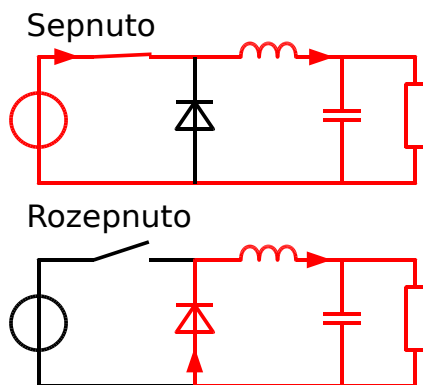


Obrázek 4.16: Zapojení PoE s volbou napájení po Ethernetu / z 12V adaptéru

#### 4.3.1.1 DC/DC zdroj

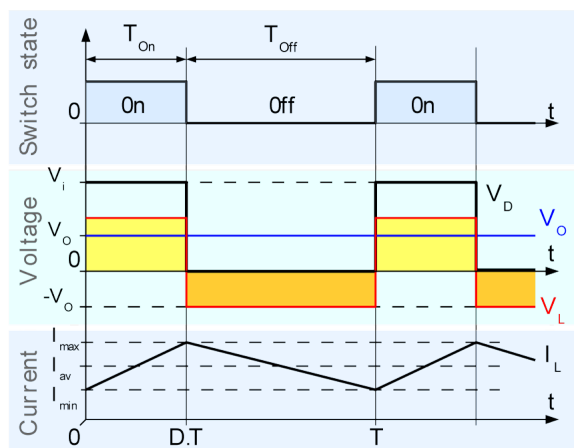
Pro alternativní použití 12 V zdroje ve variantě s vynechanými PoE obvody jsem pro napájecí hladinu 3,3 V zvolil použití spínaného zdroje v zapojení step-down (také nazíván jako buck converter). Spínaný zdroj jsem namísto lineárního regulátoru volil jednak kvůli vysoké účinnosti a také kvůli nižšímu množství vyzařovaného tepla, které by mohlo přinést potíže s chlazením ve výsledné konstrukci zařízení.

Step-down converter funguje na následujícím principu. Zdroj napětí je připojen spínačem přes cívku na zátěž. Spínač je ovládán pulsně šířkovou modulací. Spínač se může nacházet ve dvou stavech - sepnuto a rozepnuto. Jakmile spínač sepneme, napětí na cívce je  $V_L = V_i - V_O$ , kde  $V_i$  je napětí vstupní a  $V_O$  je napětí výstupní. Proud cívky roste lineárně. Dioda je polarizována závěrně, takže přes ní neteče žádný proud. Jakmile se spínač rozepne, dioda je v propustném směru. Napětí na cívce je  $V_L = -V_O$ . Proud nyní klesá. Výstupní napětí je lineárně závislé na frekvenci spínání. Jednotlivé průběhy napětí a proudů jsou znázorněny na obrázku 6.3.



Obrázek 4.17: Princip funkce step-down spínaného zdroje [16]

Pro naše zapojení jsem zvolil obvod MC34063. Jedná se o jeden z nejrozšířenějších obvodů



Obrázek 4.18: Princip funkce step-down spínaného zdroje - časové průběhy [16]

pro DC/DC zdroje. Obsahuje teplotně kompenzovaný zdroj referenčního napětí, komparátor, generátor spínacích pulsů a proudovou ochranu. Základní parametry jsou:

- rozsah vstupních provozních napětí: 3 - 40 V
- proudové omezení
- výstupní spínaný proud až 1,5 A
- nastavitelný výstupní proud
- frekvenční rozsah až 100 kHz

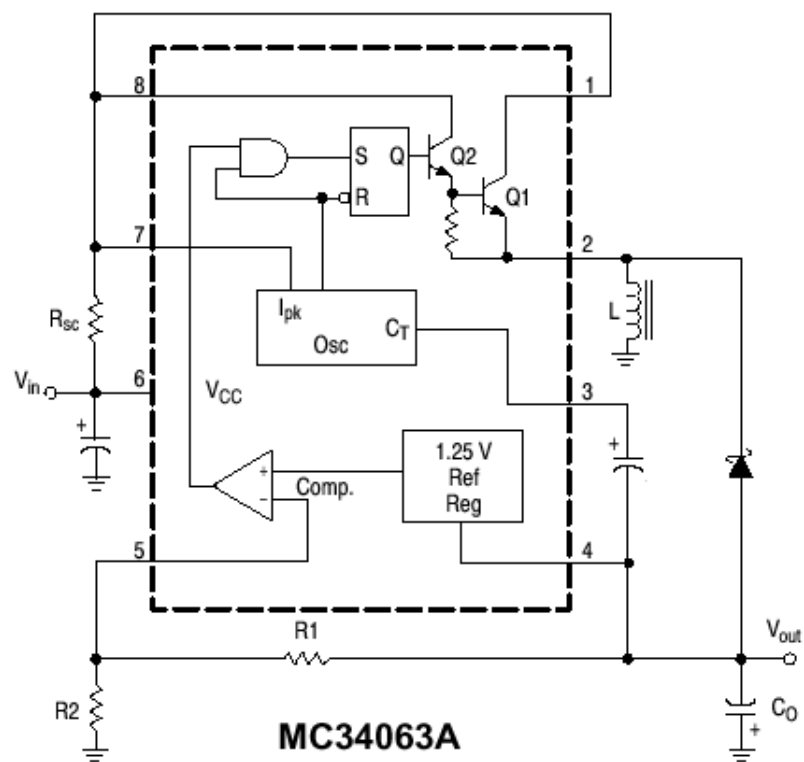
Výstupní napětí obvodu je nastaveno poměrem resistorů  $R_1$  a  $R_2$ . Výstupní napětí je popsáno vzorcem

$$V_{out} = 1,25 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (4.1)$$

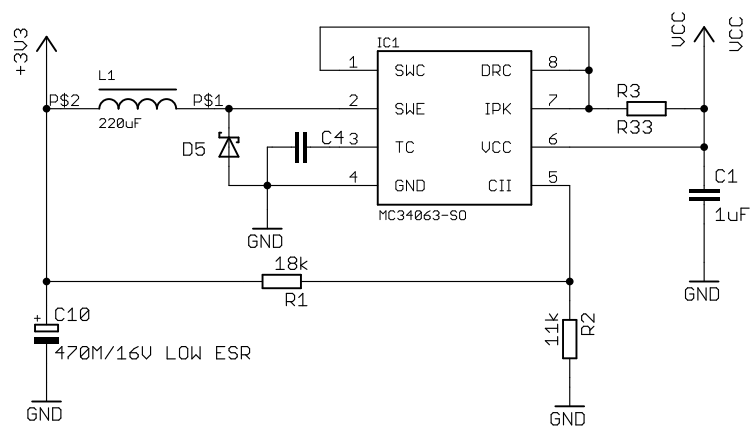
, pro požadované výstupní napětí 3,3 V tedy vychází po zaokrouhlení na hodnoty ze standardní řady  $R_1 = 18k\Omega$  a  $R_2 = 11k\Omega$ . Velikost snímacího rezistoru  $R_{SC}$  bude  $0,33\Omega$ . Dioda musí být schottkyho a všechny použité elektrolitické kondenzátory musí mít nízký sériový odpor. Výsledné zapojení zdroje pro 3,3 V hladinu je na následujícím schématu. Na obrázku 4.20 je znázorněna zatěžovací charakteristika zdroje.

## 4.4 Vstupní a výstupní rozhraní

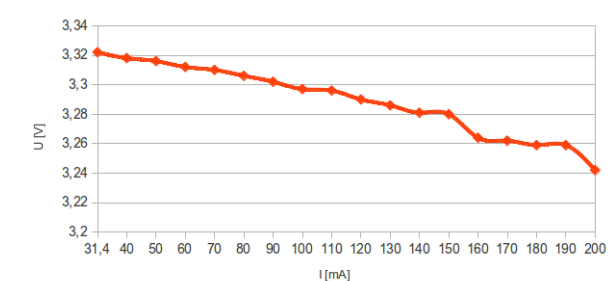
Pro ušetření vstupně-výstupních pinů mikrokontroléru jsem výstupy realizoval pomocí tří posuvných registrů 74HC4094D. Registry jsou zapojeny v sérii za sebou. Ovládání pracuje tak, že postupně procesor s hodinovým signálem pošle 3 byty dat. Po odeslání dat aktivuje



Obrázek 4.19: MC34063A - schéma funkce [15]

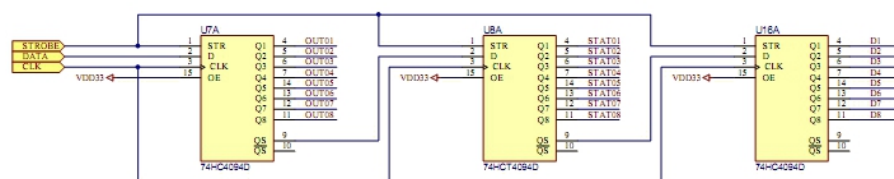


Obrázek 4.20: Schema zapojení zdroje pro hladinu 3V3



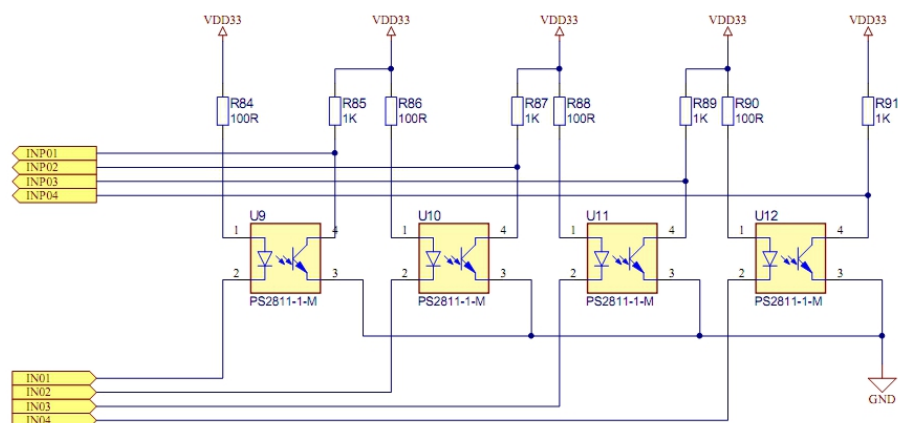
Obrázek 4.21: Zatěžovací charakteristika zdroje 3V3

výstupy signálem Strobe. Čtyři výstupy prvního registru jsou použity pro ovládání relé, další čtyři výstupy jsou vyveeny navíc pro obecné použití. Na všech 8 výstupů jsou také připojeny led diody pro indikaci stavu. Výstupy druhého registru slouží k spínání stavových led diod. Čtyři indikují aktuální vyčtený stav vstupu, další čtyři slouží k obecnému použití. Poslední registr slouží k připojení LCD displeje, který bude moci být využit buď pro ladící účely, nebo ve výsledné aplikaci, například pro zobrazení hodnot z analogových vstupů, popřípadě ze snímačů připojených rozhraním onewire nebo I2C.



Obrázek 4.22: Zapojení výstupních shift registrů

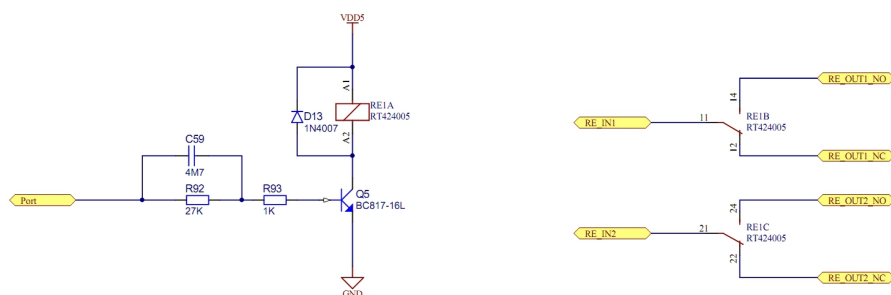
Čtyři vstupy zařízení slouží pro připojení kontaktů, nebo relé. Vstupy se aktivují připojením na zem. Částečné oddělení je provedeno optronem použitým na vstupu, nicméně jedná se o oddělení skutečně jen částečné, jelikož dioda optronu je připojena na signálovou napájecí větev. Bylo by možné provést úplné oddělení, ale obnášelo by to, použít další oddělený zdroj napájení. To už by zařízení značně zesložilo. Jelikož předpokládáme, že na vstup budou připojeny spínače, popřípadě relé, není toto třeba řešit.



Obrázek 4.23: Zapojení vstupů

Výstupy zařízení jsou řešeny pomocí relé. Vlastní relé je spínáno tranzistorem. Jelikož cívka relé má poměrně vysokou spotřebu energie a my se snažíme o co nejnížší spotřebu, je využito přídržného napětí relé. Vlastní relé potřebuje napětí nad 3,5 V pro sepnutí, poté kontakt drží až do doby, než toto napětí klesne pod 0,5 V. Právě tohoto jsem využil. Cívka relé je připojena přes tranzistor. Tranzistor má na vstupu RC člunek. Díky tomuto obvodu se tranzistor otevře na plno, aby došlo k sepnutí relé, po nabití kondenzátoru v RC článku se tranzistor přivře.

Použité relé je dvojitě, přepínací. Vyvedeny jsou jak vstupní kontakty, tak oba přepínací kontakty. Kontakty jsou dimenzovány na 230V / 8A.



Obrázek 4.24: Zapojení výstupů

# Kapitola 5

## Software

### 5.1 TCP/IP stack

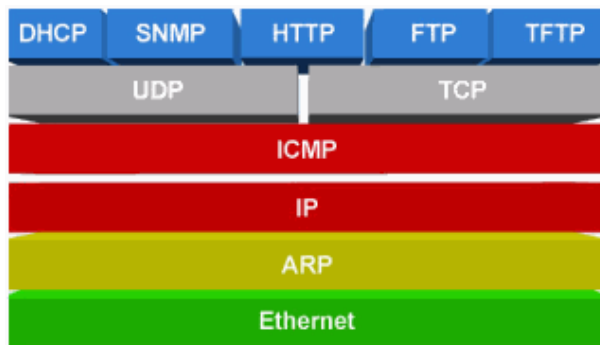
Pro komunikaci po ethernetu jsem zvolil volně šiřitelný TCP/IP stack od firmy Microchip. Jedná se o balík zdrojových kódů obsahující IP stack s podporou UDP i TCP. Balík podporuje protokoly ARP, IP, ICMP, UDP, TCP, DHCP, SNMP, HTTP, FTP, TFTP. Zdrojové kódy jsou napsány v jazyce C. Výhodou je také podpora SSL, tu lze využít jednak pro zabezpečený HTTPS přístup na webové rozhraní, nebo na příklad pro komunikaci protokolem SSH. Celý stek je modulární, takže lze snadno zvolit potřebované protokoly a služby. Architektura stacku je patrná z následujícího obrázku.

#### 5.1.1 DHCP

Pro automatické nastavení parametrů síťového rozhraní (IP adresa, Mask, Gateway). Firma Microchip poskytuje volně dostupnou Discover aplikaci, pomocí níž není problém zařízení na síti nalézt v momentě, kdy získá parametry sítě z DHCP serveru a my je neznáme.

#### 5.1.2 HTTP

Pro realizaci webového rozhraní. TCP/IP stack od firmy Microchip obsahuje velmi pěkně napsaný webový server s přívětivým API rozhraním.



Obrázek 5.1: TCP/IP stack [13]



Výpis hodnot do webových stránek se provádí zapsáním proměnné ve formátu `~promenna~` do zdrojového kódu stránky. Ve zdrojovém kódu v souboru *CustomHTTPApp.c* pak musí být použita funkce *HTTPPrint\_promenna()*. Tato funkce je volána vždy, když HTTP server při výpisu stránky narazí na proměnnou ve formátu `~promenna~`. Je tedy třeba aby callback funkce měla jako návratovou hodnotu informaci, kterou si přejeme do stránek vložit.

Pokud požadujeme zobrazení hodnot z pole, je situace obdobná. Jména proměnných se pouze změní na formát `~promenna(3)~`, popřípadě `~promenna(3,4)~` pro vícerozměrné pole. Analogicky k tomu musí být pozměněn i zápis callback funkce na *HTTPPrint\_promenna(WORD)*, popřípadě *HTTPPrint\_promenna(WORD, WORD)*.

Výhodou je, že dynamické proměnné je možné vkládat jak do html kódu, tak i do CSS, popřípadě Javascriptu. V zásadě není problém udělat celé stránky dynamicky generované, to však pro většinu aplikací nebude třeba.

Pro opačnou interakci, tedy načítání hodnot od uživatele se používají formuláře v HTML stránkách. Je možné použít jak metody GET, tak POST. Metoda GET posílá data v URL adrese a je omezena na přibližně 100b. Tato metoda je vhodná zejména pro ladění, jelikož posílaná data můžeme kontrolovat v url řádku webového prohlížeče. Metoda POST je poněkud složitější, ale nese sebou výhod ve formě neomezené délky dat.

Metoda GET je zpracována tak, že data odeslaná v URL ve formě */form.htm?promenna1=on&promenna2=50* jsou v proměnné *currHTTP.data*. Načtení proběhne callbackem *HTTPExecuteGet()*.

### 5.1.3 Telnet

## 5.2 Aplikace

Základní kostra hlavního zdrojového souboru je naznačena v následujícím výpisu.

```
#include <pic32MX695lib.h>
#include <lib.h>
#include "bsd_dhcp_client\dhcp.h"

main()
{
    SetupDefault_IP_MAC();
    MTimerInit(36000000);
    InitStackMgr();
    TickInit();
    DHCPInit();

    while(1)
    {
        StackMgrProcess();
        DHCPTask();
    }
}
```

Tento zdrojový kód provede inicializaci MAC rozhraní, nastavení IP adresy a inicializaci DHCP. Toto je funkční základ pro aplikaci využívající síťové rozhraní s webovým přístupem. Pro ukládání obsahu webu je použit souborový systém MPFS. Jedná se o soubory uložené v binární podobě.

V následujícím kousku kódu je znázorněno zadávání hodnot z webového rozhraní. Jedná se o část formuláře pro zadávání dat od uživatele.

```
<input type="text" name="zarizeni[0]" value="~zarizeni(0)~" maxlength="9"
size="15" />
<input type="text" name="adresa[0]" value="~adresa(0)~" maxlength="15"
size="8" />
```

Tato část kódu slouží pro načtení uživatelských dat. V tomto případě bude odesláno jméno zařízení a jeho IP adresa. Vyčtení hodnot provedeme funkcí *HTTPExecuteGet()*.

Z ukázky kódů je patrné, že na základě zdrojových kódů od firmy Microchip je snadné vytvořit webovou aplikaci pro embedded zařízení. Vpodstatě je potřeba dopsat vlastní části kódů pro zpracování vstupních dat a vytvořit html stránky, CSS pro hezký vzhled, popřípadě doplnit javascripty pro kontrolu zadaných dat a podobně.

Jako demonstrativní webovou stránku jsem vytvořil stránky pro výpis stavu čtyř vstupů, výpis snímané teploty a možnost ovládat čtyři výstupy. Ukázka takové stránky je na následujícím obrázku. Mechanismy propojení aplikace s webovým rozhraním použité v tomto příkladu jsou popsány v předchozím textu.

Outputs				
No.	Output name	Status		
1	Output_1	On	ON / OFF	Interrupt
2	Output_2	Off	ON / OFF	Interrupt
3	Output_3	On	ON / OFF	Interrupt
4	Output_3	On	ON / OFF	Interrupt

Inputs		
No.	Input name	Value
1	DI1	On
2	DI2	Off
3	DI3	On
4	DI4	On
5	Temperature	35

Obrázek 5.2: Ukázka webového rozhraní

## Kapitola 6

# Testování a finální realizace

Veškeré funkční bloky popsané v kapitole popisující návrh hardwarové části byly otestovány na samostatných testovacích deskách. Jako základ byl použit vývojový kit PIC32 Ethernet starter kit od společnosti Microchip. Na této platformě byla také odzkoušena základní koncepce softwaru a komunikace mikrokontroléru s řadičem fyzického rozhraní ethernetu pomocí rozhraní RMII (viz kap. 4.2.2.1). Komunikace s počítačem byla ověřena pomocí rozhraní Ethernet (Http a telnet) a RS232.

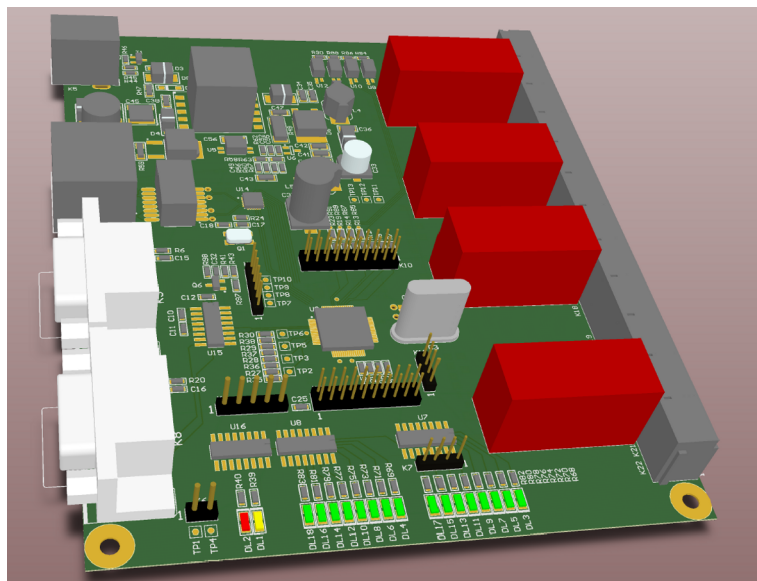
Pro testování dalších funkčních bloků bylo použito převážně nepájivé pole a univerzální desky tištěných spojů. Tímto způsobem byly otestovány zdrojové části, převodník urovní pro RS232, opticky oddělené vstupy a releové výstupy.

Zatěžovací charakteristika testovaného spínaného zdroje pro hladinu 3,3 V je na obrázku 4.21. Obvod pro napájení po Ethernetu byl otestován rovněž na testovací destičce. Při mezních parametrech odběrů (2 A z 3,3 V větve a 0,6 A z větve 5 V) zvlnění výstupního napětí nepřekročilo 20 mV.

Doplňující obvody jako sériová flash paměť, EEPROM pro konfiguraci byly v průběhu testování připojeny přímo k testovacímu kitu pomocí rozšiřující desky, bylo tak otestováno rozhraní I<sup>2</sup>C a SPI.

Po otestování jednotlivých funkčních bloků a ověření správnosti zapojení jsem provedl návrh tištěného spoje. Výsledný tištěný spoj je čtyřvrstvý o rozměrech 110 x 140 mm. Jedna vnitřní vrstva je proužita pro napájecí hladiny 3,3 V a 5 V, další vnitřní vrstva je použita jako zemnicí. Vrchní a spodní vrstvy jsou použity pro všechny ostatní signály. Vrstvy jsou dle potřeby propojeny prokovy. Volné plochy jsou vylité zemí. Při návrhu tištěného spoje bylo potřeba dbát řady zásad doporučovaných výrobcem jednotlivých obvodů. Například u řadiče Ethernetu je třeba dodržet vzdálenosti a délky diferenciálních páru pro vysílací a přijímací signály. Důležité je také oddělení signálové země od země spojené se šasi přístroje popřípadě s kostrami konektorů jako je například konektor RJ-45, nebo konektory pro připojení na RS-232.

Finální deska je v době odevzdání diplomové práce ve výrobě. Bude prezentována při obhajobě diplomové práce. Na obrázku 6.1 je znázorněn model finální desky. Na levé hraně jsou vidět konektory pro napájení 12 V DC, konektor RJ45 pro připojení k Ethernetu a dva konektory DB9 pro sériové linky. V pravé části jsou pak výstupní relé, za nimiž je podél pravé hrany řada svorkovnic. Ve střední části desky jsou okolo mikrokontroléru rozmístěny konektory pro připo-



Obrázek 6.1: 3D render výsledné desky

jení JTAG adaptéru, konektor pro programování přes ICSP rozhraní a dále pak konektory pro připojení na výstup posuvného registru, konektory pro připojení na obecné I/O piny a konektor pro analogové vstupy.

Na testovacích deskách byla vyzkoušena funkčnost čtení hodnot z připojených senzorů. Pro testování jsem použil senzor DS18S20 od firmy Maxim. Jedná se o 1-Wire snímač teploty s rozsahem měřených teplot od  $-55^{\circ}\text{C}$  do  $125^{\circ}\text{C}$ . Na obrázku 5.2 je ukázka testovací webové stránky zobrazující hodnotu teploty čtenou ze zmiňovaného senzoru. Jako akční člen v tomto testovacím webovém rozhraní byly výstupy relé. Kromě zobrazení čtené hodnoty teploty ze snímače DS18S20 byly také vyčítány aktuální stavy čtyř DI vstupů.

# Kapitola 7

## Závěr

V průběhu této práce jsem se zabýval základní koncepcí modulárního síťového zařízení. Postupně jsem se seznámil s dostupnými mikrokontroléry na trhu a provedl volbu konkrétní architektury. Výsledkem byla volba mikrokontroléru řady PIC32, konkrétně PIC32MX695F512H. Ukázalo se, že se jedná nejen o velmi výkonný mikrokontrolér s řadou periférií, ale také o obvod s velmi dobrou podporou ze strany výrobce.

Softwarová část projektu byla vyvíjena a odladěna na vývojovém kitu PI32 starter kit. Bylo použito vývojové prostředí MPLAB IDE, a dostupné demonstrační zdrojové kódy. Vybraný obvod bych zhodnotil jako levný (oproti adekvátní konkurenci), výkonný mikrokontrolér s širokou škálou použitelných rozhraní.

Díky velmi dobré podpoře a dokumentaci od výrobce se jedná určitě o řadu produktů použitelných v aplikacích, kde klíčovou roli hraje krátký čas „time to market“. V případě této práce je toto vyváжено časem stráveným studiem architektury Cortex M3 a obvodů STM32, které jsem původně hodlal na práci použít. Pro porovnání parametrů jsem se zmínil i o tomto obvodu. V práci je naznačeno také jeho původní zapojení.

Další klíčovou částí práce bylo řešení napájení. Naštěstí se mi podařilo pro tuto aplikaci vybrat obvody, které používají jen napájení 3,3 V a 5 V, popřípadě obsahují vlastní interní low drop regulátory pro napájení vnitřních periférií, které pracují na jiných napěťových hladinách. Jelikož zadáním bylo vytvořit zařízení, které bude možné napájet dvěma různými způsoby a to buďto 12 V DC adaptérem, nebo pomocí napájení po Ethernetu, musel jsem zvolit vhodnou koncepci zdrojové části. Původní návrhy s PoE řadičem LM5070 a externími spínanými zdroji na 3,3V a 5 V jsem zavrhl. Návrh zdroje na 3,3 V proběhl úspěšně s využitím obvodu MC34063. Zdroj vykazoval dobré parametry, nízké zvlnění výstupního napětí a malý úbytek napětí při zatížení. Před návrhem 5 V větve jsem však narazil na obvod LM5071, který má alternativní vstup pro 12 V napájení a lze s ním poměrně snadno navrhnout zdroj s výstupními dvěma kanály (v našem případě 3,3 V pro logiku a 5 V pro cívkou relé).

Zařízení je vybaveno řadou vstupně-výstupních rozhraní. V první prototypové verzi jsou tato rozhraní vyvedena převážně na pinové lišty. Oddělené vstupy a kontakty relé jsou vyvedeny na svorkovnice. Pro programování jsou vyvedena dvě rozhraní (ICSP a JTAG), pro připojení dalších zařízení jsou vyvedeny analogové vstupy, 8 GPIO volitelně přímo z MCU a 12 GPIO přes výstupní registry, 2x RS232, SPI a USB.

Výsledná deska je základním prvkem pro vývoj dalších zařízení na této platformě. Na základě této desky je možné odladit software pro konkrétní aplikaci na konkrétních perifériích. Dle potřeby pak bude zvolena jedna z popisovaných variant osazení modulu na finální desku (knihovní symbol, nebo použití fyzického modulu) a odebrání nepotřebných obvodů ze základní desky. Případně bude možné provést doplnění obvodů, které budou na testovací desce připojeny na univerzální konektory.

# Literatura

- [1] JOSEPH YIU. The definitive guide to the ARM Cortex-M3. Newnes. 2010.
- [2] TEXAS INSTRUMENTS. Embedded Processing Guide. Texas Instruments. 2009.
- [3] TEXAS INSTRUMENTS. Stellaris® Family of Microcontrollers. Texas Instruments. 2009.
- [4] ARM. Cortex-M3 Processor [online]. 2010. Dostupné z URL:  
<<http://www.arm.com/products/processors/cortex-m/cortex-m3.php>>
- [5] HW SERVER RS232 [online]. 2010. Dostupné z URL: <<http://rs232.hw.cz>>.
- [6] PHILIPS SEMICONDUCTORS. The I<sup>2</sup>C-bus specification version 2.1. 2000
- [7] NXP. I<sup>2</sup>S-bus specification [online]. 2010. Dostupné z URL:  
<[http://www.nxp.com/acrobat\\_download2/various/I2SBUS.pdf](http://www.nxp.com/acrobat_download2/various/I2SBUS.pdf)>
- [8] TRILOGY OF MAGNETICS - 4th extended and revised edition. Würth Elektronik 2009
- [9] IEEE Standards Interpretation for IEEE Std 802.3af™-2003 [online]. 2010. Dostupné z URL:  
<<http://standards.ieee.org/reading/ieee/interp/802.3af-2003.html>>
- [10] LM5071 Power Over Ethernet PD Controller with Auxiliary Power Interface. National Semiconductors. 2006.
- [11] STE100P. STMicroelectronics. 2006
- [12] Microchip PIC32MX695F512H [online]. 2011. Dostupné z URL:  
<<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en545654>>
- [13] Microchip TCP/IP Stack with BSD Socket API [online]. 2011. Dostupné z URL:  
<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/TCP-IP%20Stack%20AN1108A.pdf>>
- [14] Power Over Ethernet [online]. 2011. Dostupné z URL:  
<<http://hw.cz/Produkty/Ethernet/ART1068-Power-Over-Ethernet.html>>

- [15] ON Semiconductors MC34063. 2011. Dostupné online z URL:  
<[http://www.onsemi.com/pub\\_link/Collateral/MC34063A-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MC34063A-D.PDF)>
- [16] Buck Converter [online]. 2011.  
Dostupné z URL: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Buck\\_converter](http://en.wikipedia.org/wiki/Buck_converter)>



